



Departamento de Termodinámica Aplicada  
Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales  
Universidad Politécnica de Valencia

## TESIS DOCTORAL

Análisis de la legislación española y europea  
sobre la eficiencia energética en edificios.  
Estudio mediante simulación computacional y  
medidas reales

por

**Arcadio García Lastra**

Ingeniero Industrial por ETSII de Gijón

Madrid, julio de 2014

Director de la Tesis Doctoral: Dr. Ing. Víctor Manuel Soto Francés



## DEDICATORIA

A mi esposa Marta e hija Paula,  
a mis padres Felisa y Arcadio,  
a mis hermanos Vanesa, Inma y Víctor,  
a mis amigos.



## Agradecimiento...

Empezar reconociendo a los miembros del Grupo FRED SOL, a D. Víctor Soto Francés, director de esta tesis doctoral gracias por su visión experta en la dirección de este trabajo y D. Antonio García Laespada por su apoyo y estímulo, a ambos gracias, por sin estar, darme la oportunidad de ser parte del grupo. Sin la colaboración de ellos no iba a ser posible terminar este trabajo.

También agradecer a todos los órganos de gobierno de la Asociación Técnica Española de Climatización y Refrigeración, ATECYR, por su aportación que en mayor o menor medida han ayudado al planteamiento, desarrollo y busca de procedimientos de este trabajo.

En concreto a Dña. Ana Magdaleno, por su tesón y muestra de entrega ofreciendo siempre a los demás y en especial al sector de climatización de forma desinteresada, a D. José Manuel Pinazo Ojer por la claridad en sus infinitos conocimientos y generosidad en sus explicaciones y D. Ricardo García San José por su sabiduría y sencillez con la que es capaz de aplicar sus conocimientos, a estos gracias por la extremada paciencia que conmigo han tenido.

Por último un especial agradecimiento a mi esposa Marta (*pi*) por el afecto mostrado en todo momento, sobre todo en este periodo de estudio doctoral, que me ha transmitido y transmite la fuerza inagotable necesaria para terminar este trabajo, además de demostrarme, que la distancia entre dos puntos se queda risible, por mucho que estos estén separados, si ambos sienten atracción.



## RESUMEN TESIS DOCTORAL

Para conseguir los objetivos de reducción de emisiones de efecto invernadero responsables del calentamiento global de nuestro planeta, se firma por muchos gobiernos, dentro de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático<sup>1</sup> (1994), el Protocolo de Kioto que tiene por objetivo reducir las emisiones de seis gases de efecto invernadero.

Una de las medidas reglamentarias dentro de la edificación, tomada dentro de la Unión Europea para conseguir este reto medioambiental, es la redacción de una Directiva para fomentar la eficiencia energética en los edificios, responsables estos, del 40% del consumo de energía total en Europa.

Esta Directiva declara unos procedimientos y exigencias mínimas que deben cumplir los edificios, existentes y de nueva construcción, y sus instalaciones para conseguirlo. Además, para desarrollar una metodología común, la Directiva se apoya en unas normas EN que se han desarrollado desde el Comité Europeo de Normalización (CEN), que establecen el procedimiento a seguir por todos los Estados Miembros para determinar la demanda de energía del edificio y la estimación del consumo de cada servicio evaluable.

Se ha detectado tras la primera lectura de las normas poca concordancia entre los diferentes grupos de trabajo que las han redactado, utilizando en muchos casos nomenclaturas y terminología diferentes. Con este trabajo se ha analizado en profundidad estas normas CEN y se han homogeneizado para el caso del servicio de calefacción y de agua caliente sanitaria.

En ningún caso existe un ejemplo común que engrane la metodología expuesta en cada una de las normas. Por ello, se propone un ejemplo teórico que se podría publicar dentro de la familia de las normas CEN o en un anexo nacional, para una mejor comprensión de las metodologías descritas.

Así mismo, se estudian con detalle los procedimientos legislativos para analizar la eficiencia energética de los edificios en España (tanto existentes como nuevos) que se basan en una simulación computacional, testeando, si se están aplicando o no, todas las directrices marcadas por las normas CEN.

Aprovechando este estudio se recogen en este documento los valores que los programas de certificación asumen por defecto a la hora de realizar la simulación. También se ha realizado una distinción para comprobar, si los valores que por defecto asumen las normas CEN, para los datos desconocidos, son de aplicación en nuestro país.

Antes de determinar unas conclusiones, se ha comprobado si la simulación computacional realizada por los programas españoles para determinar la eficiencia energética se acerca o no a los consumos. En caso de ser contrario, se establece un procedimiento para que estos programas sirvan también como herramientas de evaluación de consumo energético y, consecuentemente, ayuden a los técnicos a evaluar la medidas de ahorro energético que establezcan tras una auditoría energética a un edificio.

Finalmente se determinaron unas conclusiones, aportaciones, y futuros trabajos a desarrollar, tras esta tesis doctoral. En el Capítulo 11 se desarrolla una metodología para incorporar al procedimiento actual de calificación energética español aquellos aspectos descritos por las normas CEN que no son actualmente evaluables.

---

<sup>1</sup>Cuyo fin es reforzar la conciencia pública, a escala mundial, de los problemas relacionados con el cambio climático.





## SUMMARY DOCTORAL THESIS

It is known that CO<sub>2</sub> emissions in the atmosphere are accelerating the greenhouse effect. With the aim of reducing this emission, it is signed by Government as part of Convention of the United Nations about Climate Change<sup>2</sup> (1994), the Kyoto Protocol, whose aim is reducing the emissions of six greenhouse effects.

One of the Building regulations in the European Union about this is the publication of a Directive to encourage energy efficiency in buildings, which are responsible for 40% of the energy consumption in Europe.

This Directive maintains a procedure and minimum demands that building must achieved, existing and new buildings, and the facilities to get it. In addition, to develop a common methodology, the Directive is adapted to legal standards EN who has been developed since European Committee of Standardization (CEN). They established the procedure that all Member States must follow in order to decide energy demand of a building and the estimation of consume of each measurable service.

As a result of this work this regulation CEN has been deeply analyzed and they have been harmonized in the case of the service of heating and sanitary hot water. After a first lecture, a lack of agreement between different working groups who wrote the regulations is detected, using in many times different nomenclatures and terminology. In no case, there is a common example which fit in the methodology in each regulation. Therefore, the doctoral thesis suggests a theoretical example which could be published inside CEN regulation or in a national attached.

Also, the legislative procedures are studied in detail to Spain's Buildings, (existing and new buildings). They are based on a computer simulation tasting if they are making or not use of CEN regulation. Taking advantage of the study, in this document is collected the values that certification programmers have by default when it is time to make the simulation. Also, the doctoral thesis has checked if the values that are included in CEN regulations by default for unknown datum are used in our country.

Before drawing conclusions, the thesis has checked if the computational simulation in order to decide energy efficiency, made by Spanish programmers, is around to consume. Otherwise, a procedure for these programmers is established in order to help as an instrument of evaluation energy consume. Therefore, after having an energy audit of a building, it can help technical to calculate saving energy.

Finally conclusions were drawn and future jobs to carry out after this doctoral thesis.

---

<sup>2</sup>With the purpose of becoming aware of problems in everything related to climate change in the world.



## **RESUM TESI DOCTORAL: Anàlisi de la legislació espanyola i europea sobre l'eficiència energètica als edificis. Estudi mitjançant simulació computacional i mesures reals.**

Per a aconseguir els objectius de reducció de emissions de gasos d'hivernacle responsables del calfament global del planeta, es firma per molts governs, dins de la Convenció Marc de les Nacions Unides sobre el canvi climàtic, el Protocol de Kioto que té per objectiu la reducció de l'emissió de sis gasos de efecte hivernacle.

Una de les mesures reglamentàries dins de la edificació, presa dins de L'Unió Europea per a aconseguir aquest repte mediambiental, es la redacció d'una Directiva per a millorar l'eficiència energètica als edificis. Aquests son responsables del 40% del consum d'energia total a Europa.

Aquesta Directiva declara uns procediments i exigències mínimes que deuen atendre els edificis, existents i de nova construcció i les seves instal·lacions per aconseguir-ho. A més, per a desenvolupar un mètode comú, la Directiva es recolza en unes normes EN que desenvolupa el Comitè Europeu de Normalització (CEN), que estableix el procediment a seguir per tots els Estats Membres per determinar l'energia demandada per l'edifici i l'estimació del consum de cada servei.

Amb aquest treball s'ha analitzat amb profunditat les noves normes CEN i s'ha establert una nomenclatura comú per als serveis de calefacció i aigua calenta sanitària. S'ha detectat, la descoordinació entre els diferents grups de treball que han redactat la normativa que aplega inclús a afectar a la terminologia emprada. En cap cas existeix un exemple complet que aplique tota la normativa. Per això, la tesi proposa un exemple teòric que podria ser publicat dins del annex o be de les normes CEN o be a nivell nacional espanyol previst per les normes.

Així mateix, s'estudien amb detall els procediments legislatius per a analitzar l'eficiència energètica dels edificis a Espanya (tant existents, com nous), que es basen en una simulació computacional. L'objectiu es assegurar si les normes estan sent aplicades o no. Aprofitant l'estudi es recullen els valors que els programes de certificació assumeixen per defecte quan simulen. També s'ha realitzat una distinció per vore si el valors per defecte que assumeix les normes CEN, quan aquesta informació es desconeguda, es poden aplicar a Espanya.

Avanç de arribar a unes conclusions, s'ha vist si la simulació computacional realitzada per els programes espanyols per a determinar l'eficiència energètica s'apropa o no als consums reals.

En cas contrari, s'estableix un procediment per a que aquestos programes puguin ser útils com ferramentes d'avaluació del consum i per tant ajuden als tècnics a proposar i avaluar mesures de estalvi energètic després d'una auditoria de d'edifici.

Finalment s'arriba a unes conclusions , aportacions i treballs futurs. El capítol 11 desenvolupa una metodologia per a incorporar al procediment oficial espanyol de qualificació energètica, aquells aspectes descrits en les normes CEN, que la tesi demostra que son importants a nivell real i pràctic i que actualment el mètode espanyol no té i per tant fa que no siguin avaluable i visibles pels tècnics.



## Índice de contenido

<b>1.</b>	<b><i>Introducción y objeto</i></b> _____	<b>36</b>
1.1.	<b>Antecedentes</b> _____	36
1.2.	<b>Objetivos</b> _____	38
1.3.	<b>Metodología</b> _____	40
1.4.	<b>Alcance</b> _____	41
1.5.	<b>Contenido</b> _____	41
<b>2.</b>	<b><i>Consumo de energía en la edificación</i></b> _____	<b>43</b>
<b>3.</b>	<b><i>Comité Europeo de Normalización (CEN)</i></b> _____	<b>52</b>
3.1.	<b>Relación entre las normas CEN y la Directiva</b> _____	<b>53</b>
3.2.	<b>Cálculo de la eficiencia energética</b> _____	<b>55</b>
<b>4.</b>	<b><i>Normas CEN</i></b> _____	<b>56</b>
4.1.	<b>Generalidades</b> _____	<b>57</b>
4.2.	<b>Periodo de tiempo de cálculo</b> _____	<b>58</b>
4.3.	<b>Condiciones operativas y eficiencia en equipos</b> _____	<b>60</b>
4.4.	<b>Indicadores de la eficiencia energética</b> _____	<b>60</b>
4.5.	<b>Factores de conversión</b> _____	<b>61</b>
4.6.	<b>Métodos detallados y simplificados</b> _____	<b>62</b>
4.7.	<b>Subdivisiones de los subsistemas</b> _____	<b>62</b>
4.8.	<b>Demanda energética y pérdidas térmicas</b> _____	<b>63</b>
4.8.1.	Aproximación holística _____	64
4.8.2.	Aproximación simplificada _____	65
<b>5.</b>	<b><i>Calefacción</i></b> _____	<b>66</b>
<b>5.1.</b>	<b>Emisión</b> _____	<b>66</b>
5.1.1.	Energía auxiliar _____	66
5.1.1.1.	Energía auxiliar recuperada _____	69
5.1.2.	Pérdidas térmicas _____	69
5.1.2.1.	Indicadores de eficiencia _____	71
5.1.2.2.	Incremento de la temperatura interior _____	80
<b>5.2.</b>	<b>Distribución</b> _____	<b>82</b>
5.2.1.	Energía auxiliar _____	82
5.2.1.1.	Funcionamiento intermitente _____	93
5.2.1.2.	Valores tabulados _____	95
5.2.1.3.	Energía auxiliar recuperable _____	98
5.2.2.	Pérdida térmica _____	98
5.2.2.1.	Valores tabulados _____	102
5.2.2.2.	Pérdidas térmicas recuperable y no recuperable _____	104
5.2.3.	Temperaturas de trabajo medias _____	104

<b>5.3. Calderas</b>	<b>107</b>
5.3.1. Tipología del generador	108
5.3.2. Eficiencia del generador	109
5.3.2.1. Varios generadores	110
5.3.2.2. Generadores mixtos	111
5.3.2.3. Energía auxiliar total	112
5.3.2.4. Pérdidas térmicas	115
5.3.2.5. Pérdidas térmicas recuperables	121
5.3.2.6. Temperatura de trabajo media	122
5.3.3. Método cíclico	126
5.3.3.1. Energía auxiliar	127
5.3.3.2. Pérdidas térmicas	129
5.3.3.3. Generadores de una etapa	134
5.3.3.4. Generadores multietapa y modulantes	136
5.3.3.5. Calderas de condensación	140
5.3.3.6. Generadores múltiples	146
<b>5.4. Diagrama sinóptico</b>	<b>147</b>
<b>6. Agua caliente sanitaria (ACS)</b>	<b>148</b>
<b>6.1. Distribución</b>	<b>148</b>
6.1.1. Energía auxiliar	149
6.1.1.1. Funcionamiento intermitente	153
6.1.1.2. Energía auxiliar recuperable	153
6.1.2. Pérdidas térmicas	153
6.1.2.1. Circuitos individuales	154
6.1.2.2. Circuito cerrado (red de retorno)	159
6.1.2.3. Accesorios y tomas de los usuarios	161
6.1.3. Energía térmica recuperable para el servicio de calefacción	162
<b>6.2. Generación</b>	<b>163</b>
6.2.1. Energía auxiliar	163
6.2.1.1. Energía auxiliar recuperable	164
6.2.2. Pérdidas térmicas	164
6.2.2.1. Calentamiento indirecto.	165
6.2.2.2. Calentamiento directo. Viviendas unifamiliares	165
6.2.3. Pérdidas térmicas recuperables para el servicio de calefacción	167
<b>6.3. Diagrama sinóptico</b>	<b>168</b>
<b>7. Sistemas solares térmicos</b>	<b>169</b>
<b>7.1. Energía solar térmica</b>	<b>171</b>
<b>7.2. Energía auxiliar</b>	<b>175</b>
<b>7.3. Pérdidas térmicas</b>	<b>176</b>

<b>7.4.</b>	<b>Energía térmica recuperable para calefacción</b>	<b>177</b>
<b>7.5.</b>	<b>Reducción del tiempo del generador de apoyo</b>	<b>177</b>
7.5.1.	Reducción del consumo de energía auxiliar	177
7.5.2.	Reducción de las pérdidas de calor	178
<b>8.</b>	<b><i>Análisis de la legislación española</i></b>	<b>179</b>
<b>8.1.</b>	<b>Edificios de energía casi nula (EECN)</b>	<b>184</b>
<b>8.2.</b>	<b>Programas de simulación computacional (PSC)</b>	<b>186</b>
<b>9.</b>	<b><i>Aplicación de la metodología de las normas CEN</i></b>	<b>189</b>
<b>9.1.</b>	<b>CEN vs PSC</b>	<b>189</b>
9.1.1.	CEN vs CALENER VyP	190
9.1.2.	CEN vs CALENER GT	193
<b>9.2.</b>	<b>Conclusiones</b>	<b>197</b>
<b>10.</b>	<b><i>Comprobación con medidas reales</i></b>	<b>199</b>
<b>10.1.</b>	<b>Bermeo</b>	<b>199</b>
10.1.1.	Consumos reales	199
10.1.2.	Aplicación de las normas CEN	200
10.1.3.	CALENER VyP	223
10.1.4.	CALENER GT	224
<b>10.2.</b>	<b>San Fernando</b>	<b>226</b>
<b>10.3.</b>	<b>Conclusiones</b>	<b>227</b>
<b>11.</b>	<b><i>Propuesta</i></b>	<b>229</b>
<b>11.1.</b>	<b>Introducción</b>	<b>229</b>
<b>11.2.</b>	<b>Nuevas variables</b>	<b>232</b>
11.2.1.	Subsistemas de emisión	233
11.2.1.1.	Radiadores eléctricos	234
11.2.1.2.	Radiadores	235
11.2.1.3.	Cerramiento radiante	237
11.2.1.4.	Resumen de los factores $f_i$	240
11.2.2.	Subsistema de distribución	240
11.2.2.1.	Longitud de las tuberías	243
11.2.2.2.	Transmitancia térmica lineal	248
11.2.2.3.	Temperatura media de trabajo	251
11.2.3.	Subsistemas de generación	253
<b>11.3.</b>	<b>Valores de referencia</b>	<b>255</b>
<b>11.4.</b>	<b>Consideración del consumo eléctrico de las bombas</b>	<b>255</b>
11.4.1.	Servicio de calefacción	255
11.4.2.	Servicio de ACS	259
<b>12.</b>	<b><i>Conclusiones</i></b>	<b>261</b>

<b>12.1. Generales</b>	<b>261</b>
<b>12.2. Particulares</b>	<b>261</b>
12.2.1. Aplicación de las normas CEN	261
12.2.2. Consumos	261
12.2.3. Aportaciones	262
12.2.4. Desarrollos futuros	262
<b>13. Anexo I: Consumo de energía en la edificación y equipamiento</b>	<b>263</b>
<b>13.1. España dentro de la Unión Europea</b>	<b>263</b>
<b>13.2. Consumos y ahorros. Ratios de energía (indicadores)</b>	<b>266</b>
13.2.1. Evolución de las variables de actividad	267
13.2.2. Consumos en viviendas y edificios terciarios	272
13.2.3. Evolución de los ratios de energía	279
13.2.4. Ahorros conseguidos en el año 2010	287
13.2.4.1. Envolverte e instalaciones térmicas	287
13.2.4.2. Iluminación interior	291
13.2.4.3. Equipamiento	292
13.2.4.4. Conclusiones	295
<b>13.3. Consumos y ahorros en el futuro (año 2020)</b>	<b>297</b>
13.3.1. Evolución de las variables de actividad	300
13.3.2. Consumos energéticos y ahorros previsibles	302
13.3.3. Impulso de las Energías Renovables	303
<b>14. Anexo II. Descripción de los programas de certificación (PSC)</b>	<b>309</b>
<b>14.1. Geometría edificatoria. Demanda energética</b>	<b>309</b>
<b>14.2. Características ocupacionales y funcionales</b>	<b>313</b>
14.2.1. Edificios de viviendas	313
14.2.2. Edificios terciarios en CALENER VyP	316
14.2.3. Edificios terciarios en CALENER GT	323
<b>14.3. Demanda de agua caliente sanitaria</b>	<b>325</b>
<b>14.4. Definición de sistemas en CALENER VyP</b>	<b>328</b>
<b>14.5. Definición de sistemas en CALENER GT</b>	<b>333</b>
14.5.1. Lado del agua	334
14.5.2. Lado del aire	336
<b>14.6. Comportamiento horario de los equipos CALENER GT</b>	<b>339</b>
14.6.1. Bombas de circulación	339
14.6.2. Calderas	340
14.6.3. Generador ACS	342
14.6.4. Radiador	343
<b>14.7. Condiciones nominales</b>	<b>345</b>
14.7.1. Calderas	345



14.7.2.	Bombas de circulación	345
<b>14.8.</b>	<b>Valores de referencia</b>	<b>346</b>
<b>15.</b>	<b>Anexo III. Variables independientes</b>	<b>348</b>
15.1.	Temperatura del agua de la red	348
15.2.	Temperatura exterior media	350
15.3.	Radiación solar sobre una superficie	351
<b>16.</b>	<b>Anexo IV. Aislamiento en tuberías</b>	<b>355</b>
16.1.	Valores legislados desde 1975 a 1980	357
16.2.	Valores legislados desde 1980 a 1998	357
16.3.	Valores legislados desde 1998 a 2007	358
16.4.	Valores legislados desde 2007	358
16.5.	Adaptación a las normas CEN	359
16.6.	Aislamiento de tuberías en el interior de los edificios	360
16.7.	Coefficiente de convección	361
16.7.1.	Interior de edificios	361
16.7.2.	Exterior de edificios	362
<b>17.</b>	<b>Anexo V. Exigencias legislativas de combustibles</b>	<b>363</b>
<b>18.</b>	<b>Anexo VI. Rendimiento estacional de generación</b>	<b>366</b>
18.1.	Reino unido	366
18.2.	Proyecto BOILEFF	369
18.3.	España	371
18.4.	Norma UNE-EN 15378	374
<b>19.</b>	<b>Anexo VII. Ejercicios de aplicación normas CEN</b>	<b>378</b>
19.1.	Calefacción	378
19.2.	Agua Caliente Sanitaria	395
19.3.	Agua caliente sanitaria con apoyo solar	398
<b>20.</b>	<b>Anexo VIII. Edificios reales analizados</b>	<b>403</b>
<b>20.1.</b>	<b>Bermeo</b>	<b>403</b>
20.1.1.	Envolvente térmica y situación	403
20.1.2.	Sistemas	411
20.1.2.1.	Regulación automática	419
20.1.2.2.	Selección de equipos	427
<b>20.2.</b>	<b>San Fernando</b>	<b>429</b>
20.2.1.	Envolvente térmica	429
20.2.2.	Sistemas	433
20.2.2.1.	Regulación automática	438
20.2.2.2.	Selección de equipos	442
<b>21.</b>	<b>Anexo IX. Equipos fijos de medición</b>	<b>445</b>

<b>22.</b>	<b><i>Anexo X. Listado de normas CEN</i></b>	<b>448</b>
<b>23.</b>	<b><i>Bibliografía</i></b>	<b>456</b>
<b>23.1.</b>	<b>Capítulo 1</b>	<b>456</b>
<b>23.2.</b>	<b>Capítulo 2 y anexo I (capítulo 13)</b>	<b>456</b>
<b>23.3.</b>	<b>Capítulo 3</b>	<b>458</b>
<b>23.4.</b>	<b>Capítulo 4</b>	<b>459</b>
<b>23.5.</b>	<b>Capítulo 5 y anexo VI (capítulo 18)</b>	<b>459</b>
<b>23.6.</b>	<b>Capítulo 6</b>	<b>461</b>
<b>23.7.</b>	<b>Capítulo 7</b>	<b>462</b>
<b>23.8.</b>	<b>Capítulo 8 y anexo II (capítulo 14)</b>	<b>463</b>
<b>23.9.</b>	<b>Capítulo 10</b>	<b>463</b>
<b>23.10.</b>	<b>Capítulo 11</b>	<b>464</b>
<b>23.11.</b>	<b>Capítulo 18</b>	<b>465</b>
<b>23.12.</b>	<b>Capítulo 20</b>	<b>465</b>

## Índice de tablas

<b>Tabla 2.1:</b> Consumo de energía final en España por fuentes energéticas excluidos usos no energéticos..	45
<b>Tabla 2.2:</b> Consumo de energía final en España por sectores.....	46
<b>Tabla 2.3:</b> Consumo por fuentes y sectores en el primer año después de la última crisis mundial.....	47
<b>Tabla 2.4:</b> Distribución del consumo de biomasa en el consumo de los edificios.....	48
<b>Tabla 2.5:</b> Valores por defecto para ( $h_{BdC-ON}$ ) y SPF.....	50
<b>Tabla 3.1:</b> División de las normas CEN por secciones.....	52
<b>Tabla 3.2:</b> Relación articulado EPBD y Normas.....	53
<b>Tabla 3.3:</b> Tipos de certificación según UNE EN 15603.....	54
<b>Tabla 4.1:</b> Coeficientes de paso. Fuente: IDAE [4.5].....	61
<b>Tabla 4.2:</b> Nivel de exactitud del cálculo.....	62
<b>Tabla 5.1:</b> Valores por defecto del consumo de energía eléctrica horario del sistema de control.....	67
<b>Tabla 5.2:</b> Valores tabulados del consumo de energía eléctrica horario de ventiladores de aire de impulsión en locales de $h \leq 4$ m.....	67
<b>Tabla 5.3:</b> Potencia de energía auxiliar (ventiladores y sistema de control) en espacios con altura $h > 4$ m (grandes espacios interiores).....	69
<b>Tabla 5.4:</b> RADIADOR (superficies de calefacción libres). Altura de la zona $h < 4$ m. Eficiencias.....	73
<b>Tabla 5.5:</b> RADIADOR. Altura de zona $h < 4$ m. Valores de los factores $f_{CLF,ems,i}$ .....	73
<b>Tabla 5.6:</b> CERRAMIENTO RADIANTE $h < 4$ m. Eficiencias parciales.....	74
<b>Tabla 5.7:</b> Resistencia térmica mínima del aislamiento Norma UNE EN 1264.....	74
<b>Tabla 5.8:</b> CERRAMIENTO RADIANTE $h < 4$ m. Valores de los factores $f_{CLF,ems,j}$ .....	74
<b>Tabla 5.9:</b> CALEFACCION ELECTRICA. Altura de la zona $h < 4$ m. Eficiencias parciales.....	75
<b>Tabla 5.10:</b> CALEFACCION ELECTRICA. Altura de la zona $h < 4$ m. Valores de los factores $f_{CLF,ems,j}$ .....	75
<b>Tabla 5.11:</b> Edificios terciarios. Altura de la zona $h < 4$ m. Eficiencias parciales.....	75
<b>Tabla 5.12:</b> Edificios terciarios. Altura de la zona $h < 4$ m. Valores de los factores $f_{CLF,ems,i}$ .....	75
<b>Tabla 5.13:</b> GRANDES ESPACIOS INTERIORES. Alturas $4m < h < 10m$ . Eficiencias parciales.....	76
<b>Tabla 5.14:</b> GRANDES ESPACIOS INTERIORES. Alturas $4m < h < 10m$ . Factores $f_{CLF,ems,j}$ .....	76
<b>Tabla 5.15:</b> GRANDES ESPACIOS INTERIORES. Alturas $h > 10m$ . Eficiencias parciales.....	77
<b>Tabla 5.16:</b> GRANDES ESPACIOS INTERIORES. Alturas $h > 10m$ . Factores $f_{CLF,ems,i}$ .....	77
<b>Tabla 5.17:</b> Sensibilidad de las pérdidas energéticas en radiadores.....	78
<b>Tabla 5.18:</b> Sensibilidad de las pérdidas energéticas en suelo radiante.....	79
<b>Tabla 5.19:</b> Sensibilidad de las pérdidas energéticas con respecto a la situación en suelo radiante.....	79
<b>Tabla 5.20:</b> Variación por tipo de emisor de calor a carga nominal función de la altura del techo.....	80
<b>Tabla 5.21:</b> Variación espacial RADIADORES función de la temperatura del agua y de la carga térmica.....	81
<b>Tabla 5.22:</b> Variación debida al control función del tipo de emisor de calor y de la carga térmica.....	81
<b>Tabla 5.23:</b> Pérdida de presión de los generadores de calor.....	85
<b>Tabla 5.24:</b> Factor de corrección para redes hidráulicas $f_{CLF,red,hydr}$ .....	87
<b>Tabla 5.25:</b> Constantes $C_{p1}$ , $C_{p2}$ para el cálculo del factor de energía consumida.....	92

<i>Tabla 5.26: Demanda de energía auxiliar anual, método de cálculo tabulado</i> .....	96
<i>Tabla 5.27: Gráficos demanda de energía auxiliar anual, <math>W_{dst,aux,anl}(kWh/año)</math></i> .....	97
<i>Tabla 5.28: Aproximación de las longitudes de las tuberías (sistemas de calefacción bitubo)</i> .....	99
<i>Tabla 5.29: Aproximación de la longitud de la tubería (sistemas de calefacción monotubo)</i> .....	100
<i>Tabla 5.30: Longitud equivalente (m) de las válvulas (el de todas las válvulas no por válvula)</i> .....	100
<i>Tabla 5.31: Valores por defecto de <math>\Psi</math> para edificios nuevos y existentes propuestos por la norma CEN.</i>	102
<i>Tabla 5.32: Pérdida térmica anual del sistema en kWh/año a la temperatura de diseño</i> .....	103
<b>Tabla 5.33:</b> <i>Valores por defecto para el factor de corrección a plena carga <math>f_{cnt}</math></i> .....	112
<b>Tabla 5.34:</b> <i>Parámetros para el cálculo del consumo de energía de los equipos auxiliares</i> .....	113
<b>Tabla 5.35:</b> <i>Factor de reducción de temperatura</i> .....	115
<b>Tabla 5.36:</b> <i>Valores por defecto para <math>\eta_{gnr,Pn}</math></i> .....	117
<b>Tabla 5.37:</b> <i>Valores por defecto para el factor de corrección a plena carga <math>f_{corr,Pn}</math></i> .....	118
<b>Tabla 5.38:</b> <i>Valores por defecto para <math>\eta_{gnr,Pn}</math></i> .....	119
<b>Tabla 5.39:</b> <i>Factor de corrección a carga intermedia <math>f_{corr,Pint}</math></i> .....	119
<b>Tabla 5.40:</b> <i>Valores por defecto para <math>\Phi_{gnr,prd,Po}</math></i> .....	120
<b>Tabla 5.41:</b> <i>Temperatura de la sala de instalación por defecto</i> .....	120
<b>Tabla 5.42:</b> <i>Parámetros para el cálculo de las pérdidas de calor en espera</i> .....	121
<b>Tabla 5.43:</b> <i>Parte de las pérdidas de calor en espera atribuidas a las pérdidas a través de la envolvente del generador</i> .....	121
<b>Tabla 5.44:</b> <i>Valores por defecto de <math>C_1, C_2, C_3</math> y <math>C_4</math></i> .....	123
<b>Tabla 5.45:</b> <i>Valor por defecto de <math>C_3</math> y <math>C_4</math> para el cálculo del consumo de energía eléctrica de los</i> .....	128
<b>Tabla 5.46:</b> <i>Valor por defecto de <math>T_{CLF,gnr,ens,Pn,med}, \alpha_{CLF,chl,ON}</math> y <math>f_{CLF,corr,chl,ON}</math></i> .....	130
<b>Tabla 5.47:</b> <i>Valor por defecto del exponente <math>n_{chl,ON}</math></i> .....	130
<b>Tabla 5.48:</b> <i>Valor por defecto del exponente <math>C_1</math> y <math>C_2</math></i> .....	131
<b>Tabla 5.49:</b> <i>El valor por defecto del exponente <math>n_{CLF,env}</math></i> .....	132
<b>Tabla 5.50:</b> <i>Valor por defecto del factor <math>k_{CLF,env,rcp}</math> y la temperatura de la sala de instalación <math>T_{sdc,ens}</math></i> .....	132
<b>Tabla 5.51:</b> <i>Valor por defecto de <math>\alpha_{CLFchl,OFF}</math></i> .....	133
<b>Tabla 5.52:</b> <i>Valor por defecto del exponente <math>n_{CLF,chl,OFF}</math></i> .....	134
<b>Tabla 5.53:</b> <i>Parámetro <math>f_{CLF,cmb,min}</math> para quemadores multietapa y modulantes</i> .....	137
<b>Tabla 5.54:</b> <i>Valor por defecto de <math>T_{CLF,gnr,ens,Pmin,med}</math> y <math>\alpha_{CLF,chl,ON,min}</math></i> .....	137
<b>Tabla 5.55:</b> <i>Valor <math>C_3, C_4</math> y <math>n</math> para cálculo de energía auxiliares a la potencia de combustión mínima</i> .....	138
<b>Tabla 5.56:</b> <i>Valores por defecto para el cálculo de <math>\alpha_{CLF,cnd}</math></i> .....	142
<b>Tabla 5.57:</b> <i>Datos del combustible para el cálculo de la recuperación del calor de condensación teóricos según del DTIE 10.05 [5.28].</i> .....	143
<b>Tabla 5.58:</b> <i>Humedad de saturación del aire y de los humos</i> .....	144
<b>Tabla 6.1:</b> <i>Factor de control de la bomba <math>f_{ACS,ctr}</math></i> .....	152
<b>Tabla 6.2:</b> <i>Valores de las constantes <math>C_{p1}, C_{p2}</math></i> .....	152
<b>Tabla 6.3:</b> <i>Factor de localización correspondiente a la localización de los tubos</i> .....	155
<b>Tabla 6.4:</b> <i>Valores por defecto para el cálculo de las pérdidas térmicas de los tubos individuales</i> .....	156

<b>Tabla 6.5:</b> Proporción de energía calorífica que alcanzan las tomas del usuario $\eta_{tub,ccn}$ y $\eta_{tub,WC}$ .....	157
<b>Tabla 6.6:</b> Valores por defecto pérdidas térmicas del circuito cerrado y los tubos de distribución .....	161
<b>Tabla 6.7:</b> Condiciones básicas para determinar $\beta_{ACS,esp}$ .....	162
<b>Tabla 7.1:</b> Coeficientes tipo de la instalación .....	172
<b>Tabla 8.1:</b> Matriz legislativa para cumplir la legislación energética de edificios en España.....	187
<b>Tabla 9.1:</b> Porcentaje de desviación del consumo con respecto a la demanda inicial de cálculo .....	194
<b>Tabla 10.1:</b> Consumos y demandas reales en kWh .....	200
<b>Tabla 10.2:</b> Datos obtenidos del programa PostCALENER para el bloque 1 corregidos (ajustados).....	201
<b>Tabla 10.3:</b> Ejemplo de cálculo, datos del subsistema de emisión. Bloque 1 .....	204
<b>Tabla 10.4:</b> Ejemplo de cálculo, datos del subsistema de distribución. Bloque 1.....	206
<b>Tabla 10.5:</b> Bermeo bloque 1, datos del subsistema de distribución de CALEFACCION. ....	208
<b>Tabla 10.6:</b> Bermeo bloque 1 y 2, datos subsistema distribución de ACS. ....	211
<b>Tabla 10.7:</b> Condiciones exteriores para el servicio de ACS.....	212
<b>Tabla 10.8:</b> Demanda energética de cálculo para el servicio de ACS. ....	213
<b>Tabla 10.9:</b> Energía entregada por el sol para los dos bloques.....	214
<b>Tabla 10.10:</b> Consumo de energía auxiliar para el servicio de ACS para los dos bloques. ....	214
<b>Tabla 10.11:</b> Datos del subsistema de generación (bloque 1 y 2) para el servicio de calefacción. ....	216
<b>Tabla 10.12:</b> Datos generación método de la eficiencia para el servicio de calefacción (bloque 1 y 2)...	219
<b>Tabla 10.13:</b> Datos del subsistema de generación bloque 1 y 2 para el servicio de ACS.....	219
<b>Tabla 10.14:</b> Datos de generación por el método de la eficiencia para el servicio de ACS. ....	220
<b>Tabla 10.15:</b> Bermeo energía del subsistema de emisión. ....	220
<b>Tabla 10.16:</b> Bermeo energía del subsistema de distribución.....	221
<b>Tabla 10.17:</b> Bermeo energía del subsistema de distribución y generación contando la energía solar. .	221
<b>Tabla 10.18:</b> Bermeo energía del subsistema de generación resumen. ....	222
<b>Tabla 10.19:</b> Consumo reales vs CEN con valores propuestos y reales. ....	222
<b>Tabla 10.20:</b> Consumo reales vs Vyp.....	223
<b>Tabla 10.21:</b> Consumo reales vs GT.....	225
<b>Tabla 11.1:</b> RADIADOR ELECTRICO. Altura de la zona $h < 4m$ . $\eta_{CLF,emsr}$ .....	234
<b>Tabla 11.2:</b> RADIADOR. Eficiencias parciales para obtener la eficiencia total del emisor $\eta_{CLF,emsr}$ .....	235
<b>Tabla 11.3:</b> Temperatura de impulsión según año.....	237
<b>Tabla 11.4:</b> CERRAMIENTO RADIANTE $h < 4m$ . Eficiencias parciales. ....	238
<b>Tabla 11.5:</b> Resistencia térmica mínima del aislamiento Norma UNE EN 1264.....	238
<b>Tabla 11.6:</b> Propuesta de valores $f_{CLF,ems,i}$ .....	240
<b>Tabla 11.7:</b> Transmitancia térmica en tuberías $\psi_{i,osl}$ ( $\psi_{CLF,no\ clf,gnr}$ ó $\psi_{CLF,no\ clf,edf}$ ó $\psi_{ACS,gnr}$ ó $\psi_{ACS,edf}$ ) (W/mK) año 1975 a 1998.....	250
<b>Tabla 11.8:</b> Transmitancia térmica en tuberías $\psi_{i,osl}$ ( $\psi_{CLF,no\ clf,gnr}$ ó $\psi_{CLF,no\ clf,edf}$ ó $\psi_{ACS,gnr}$ ó $\psi_{ACS,edf}$ ) (W/mK) año 1998 a 2007.....	250
<b>Tabla 11.9:</b> Transmitancia térmica en tuberías $\psi_{CLF,osl}$ ( $\psi_{CLF,no\ clf,gnr}$ ó $\psi_{CLF,no\ clf,edf}$ ) (W/mK) desde 2007... 250	250
<b>Tabla 11.10:</b> Transmitancia térmica en tuberías $\psi_{ACS,osl}$ ( $\psi_{ACS,gnr}$ ó $\psi_{ACS,edf}$ ) (W/mK) desde 2007 .....	250

<b>Tabla 11.11:</b> Valores por defecto de $\Psi$ para edificios nuevos y existentes. Elaboración propia .....	251
<b>Tabla 11.12:</b> Valores por defecto para $\Phi_{gnr,prd,po}$ (representación gráfica según ecuación 5-99) .....	254
<b>Tabla 11.13:</b> Valores por defecto para $T_{CLF,gnr,med}$ .....	254
<b>Tabla 11.14:</b> Temperatura de la sala de instalación por defecto .....	254
<b>Tabla 11.15:</b> Pérdida de presión de los generadores de calor .....	257
<b>Tabla 11.16:</b> Constantes $C_{p1}$ , $C_{p2}$ para el cálculo del factor de energía consumida .....	258
<b>Tabla 11.17:</b> Valores de las constantes $C_{p1}$ , $C_{p2}$ .....	260
<b>Tabla 13.1:</b> Indicadores M y P utilizados en edificios. Resaltados los utilizado para evaluar el ahorro... 267	267
<b>Tabla 13.2:</b> Variables de actividad ligadas al Código Técnico de la Edificación periodo 2004-2010.... 269	269
<b>Tabla 13.3:</b> Número de viviendas nuevas construidas por calificación .....	269
<b>Tabla 13.4:</b> Variables de actividad utilizadas en el cálculo de ahorros de los indicadores P en la medida Renovación de electrodomésticos en el periodo 2004-2010. Consumo en ktep .....	270
<b>Tabla 13.5:</b> Variables de actividad renovación de electrodomésticos en el periodo 2004-2010 .....	271
<b>Tabla 13.6:</b> % energía consumida por año y servicio, diferenciando energía térmica y eléctrica .....	276
<b>Tabla 13.7:</b> Variables de actividad utilizadas en el cálculo de ahorros de los indicadores P en la medida Renovación de electrodomésticos en el periodo 2004-2010. ....	279
<b>Tabla 13.8:</b> Evolución indicadores M del uso envolvente e instalaciones térmicas 2004 a 2010 .....	281
<b>Tabla 13.9:</b> Evolución indicadores M del servicio de iluminación 2004 a 2010 .....	284
<b>Tabla 13.10:</b> Evolución indicadores M del uso equipamiento en el periodo 2004-2010 .....	285
<b>Tabla 13.11:</b> Evolución indicadores M del uso equipamiento en el periodo 2004-2010 .....	287
<b>Tabla 13.12:</b> Ahorros de energía final envolvente más instalaciones térmicas en 2010 en ktep .....	288
<b>Tabla 13.13:</b> Ahorro de viviendas de nueva construcción por calificación en ktep BU <sub>CTE</sub> .....	290
<b>Tabla 13.14:</b> Ahorros de energía final envolvente más instalaciones térmicas en 2010 en ktep .....	290
<b>Tabla 13.15:</b> Ahorro en consumo eléctrico en iluminación interior .....	291
<b>Tabla 13.16:</b> Variables de actividad utilizadas en el cálculo de ahorros del mecanismo “Programa de reparto de lámparas de bajo consumo a través de tickets regalo con la factura eléctrica” 2004-2010.. 292	292
<b>Tabla 13.17:</b> Ahorro en consumo eléctrico en iluminación interior .....	292
<b>Tabla 13.18:</b> Ahorro de energía final 2010 en ktep .....	293
<b>Tabla 13.19:</b> Ahorro de energía final por unidad eficiente vendida AU <sub>ELC</sub> <sup>x</sup> (kWh/año/unidad) .....	294
<b>Tabla 13.20:</b> Número de unidades sustituidas por Plan Renove de electrodomésticos y cocinas (unidades) .....	294
<b>Tabla 13.21:</b> Ahorro de energía final 2010 en ktep .....	295
<b>Tabla 13.22:</b> Ahorro de energía final por sectores año 2010 ktep con base 2004 y 2007 .....	295
<b>Tabla 13.23:</b> Ahorros por medidas ascendentes año 2010 en ktep (año referencia 2004) .....	296
<b>Tabla 13.24:</b> Resumen por medidas del sector edificación y equipamiento .....	299
<b>Tabla 13.25:</b> Hipótesis asumidas a 2020 sobre las variables de actividad .....	300
<b>Tabla 13.26:</b> Consumos de energía final por sectores (ktep) (excluidos usos energéticos) .....	302
<b>Tabla 13.27:</b> Consumos de energía final por fuentes (ktep) (excluidos usos energéticos) .....	302
<b>Tabla 13.28:</b> Ahorros de energía final por sectores (ktep) y distribución porcentual de ahorros (base 2007) .....	303

<b>Tabla 13.29:</b> Objetivos el Plan de Energías Renovables en el sector calefacción y refrigeración. Estimación de la contribución total previsible de cada tecnología de energía renovable. ....	308
<b>Tabla 14.1:</b> Intensidad edificio terciario para todos los horarios (8, 12, 16 y 24h) en CALENER VyP.....	313
<b>Tabla 14.2:</b> Persianas integradas en los acristalamientos .....	315
<b>Tabla 14.3:</b> Criterio de consumo de ACS para diseño instalaciones.....	326
<b>Tabla 14.4:</b> Estimación del número de personas en función del número de dormitorios de la vivienda ..	327
<b>Tabla 14.5:</b> Clasificación de los subsistemas secundarios.....	338
<b>Tabla 14.6:</b> Demanda de referencia para viviendas de nueva construcción (posterior al 2006) .....	346
<b>Tabla 14.7:</b> Demanda de referencia para viviendas existentes (anterior al 2006).....	347
<b>Tabla 15.1:</b> Condiciones de la temperatura del agua de la red según UNE 94002 .....	348
<b>Tabla 15.2:</b> Altura sobre el nivel del mar y zona climática de las capitales de provincia.....	349
<b>Tabla 15.3:</b> Tabla G.2 del CTE DB HE-1. Temperatura exterior media. ....	350
<b>Tabla 15.4:</b> Datos de CENSOLAR. Temperatura exterior media. ....	351
<b>Tabla 15.5:</b> Porcentaje de radiación incidente respecto a la radiación horizontal .....	352
<b>Tabla 15.6:</b> Radiación sobre superficie horizontal .....	353
<b>Tabla 15.7:</b> Temperatura media en las horas de sol °C .....	354
<b>Tabla 16.1:</b> Tipos de tuberías utilizadas en climatización .....	356
<b>Tabla 16.2:</b> Espesor aislamiento térmico tuberías de referencia $e_{asl,rfr}$ (mm) desde 1975-1980. ....	357
<b>Tabla 16.3:</b> Espesor aislamiento térmico tuberías de referencia $e_{asl,rfr}$ (mm) desde 1980-1998. ....	357
<b>Tabla 16.4:</b> Espesor aislamiento térmico tuberías $e_{asl,rfr}$ (mm) desde 1998-2007. ....	358
<b>Tabla 16.5:</b> Espesor aislamiento térmico tuberías $e_{asl,rfr}$ (mm) desde 2007.....	358
<b>Tabla 16.6:</b> Espesor aislamiento térmico tuberías $e_{asl,rfr}$ (mm) desde 2007 funcionamiento continuo. ...	359
<b>Tabla 16.7:</b> Transmitancia térmica lineal en tuberías $\psi$ (W/mK) año 1975 a 1998.....	360
<b>Tabla 16.8:</b> Transmitancia térmica lineal en tuberías $\psi$ (W/mK) año 1998 a 2007.....	360
<b>Tabla 16.9:</b> Transmitancia térmica lineal en tuberías $\psi$ (W/mK) desde 2007 .....	360
<b>Tabla 16.10:</b> Transmitancia térmica en tuberías $\psi$ (W/mK) desde 2007. Funcionamiento continuo .....	360
<b>Tabla 17.1:</b> Valores del propano según el RD 61/2006.....	363
<b>Tabla 17.2:</b> Valores del butano según el RD 61/2006 .....	364
<b>Tabla 17.3:</b> Valores del gasóleo C según el RD 61/2006 .....	365
<b>Tabla 18.1:</b> Valores máximos de eficiencia neta (poder calorífico inferior) .....	367
<b>Tabla 18.2:</b> Factores de conversión de eficiencia .....	367
<b>Tabla 18.3:</b> Número de ecuación para diferentes tipos de caldera .....	368
<b>Tabla 18.4:</b> Ecuaciones de cálculo para obtener $\eta_{est,corr}$ calderas de gas natural y GLP.....	369
<b>Tabla 18.5:</b> Ecuaciones de cálculo para obtener $\eta_{est,corr}$ calderas de combustible líquido.....	369
<b>Tabla 18.6:</b> Factores de ponderación para sistemas de calefacción y mixtos en calderas.....	372
<b>Tabla 18.7:</b> Factores de ponderación para sistemas de ACS.....	372
<b>Tabla 18.8:</b> % Nominal por defecto asignado por el programa Ce3 .....	372
<b>Tabla 18.9:</b> % Pérdidas en el subsistema de distribución asignado por el programa Ce3 .....	374

<b>Tabla 18.10:</b>	<i>Rendimiento estacional caldera individual de calefacción, fuente NL</i>	375
<b>Tabla 18.11:</b>	<i>Rendimiento estacional caldera individual de calefacción, fuente NL</i>	375
<b>Tabla 18.12:</b>	<i>Rendimiento estacional caldera para ACS, fuente NL</i>	376
<b>Tabla 18.13:</b>	<i>Rendimiento estacional caldera, fuente UK</i>	376
<b>Tabla 18.14:</b>	<i>Cálculo rendimiento estacional a partir del rendimiento parcial</i>	376
<b>Tabla 19.1:</b>	<i>Ejemplo de cálculo, datos obtenidos del PostCALENER (nivel de ventilación 1ren/h)</i>	378
<b>Tabla 19.2:</b>	<i>Ejemplo de cálculo, datos del subsistema de emisión</i>	380
<b>Tabla 19.3:</b>	<i>Ejemplo de cálculo, subsistema de emisión por el método de incremento de temperatura</i>	381
<b>Tabla 19.4:</b>	<i>Ejemplo de cálculo, datos del subsistema de distribución</i>	383
<b>Tabla 19.5:</b>	<i>Ejemplo de cálculo, datos de pérdidas del subsistema de distribución</i>	385
<b>Tabla 19.6:</b>	<i>Ejemplo de cálculo, datos de la eficiencia del subsistema de distribución</i>	385
<b>Tabla 19.7:</b>	<i>Ejemplo de cálculo, datos del subsistema de generación</i>	386
<b>Tabla 19.8:</b>	<i>Ejemplo de cálculo, datos de pérdidas del subsistema de generación</i>	387
<b>Tabla 19.9:</b>	<i>Ejemplo de cálculo, datos del subsistema de generación por el método de la eficiencia</i>	390
<b>Tabla 19.10:</b>	<i>Ejemplo de cálculo, datos del subsistema de generación método cíclico de la caldera</i>	394
<b>Tabla 19.11:</b>	<i>Condiciones exteriores para el servicio de ACS</i>	398
<b>Tabla 19.12:</b>	<i>Demanda energética de cálculo para el servicio de ACS</i>	399
<b>Tabla 19.13:</b>	<i>Energía entregada por el sol</i>	400
<b>Tabla 19.14:</b>	<i>Consumo de energía auxiliar para el servicio de ACS</i>	400
<b>Tabla 19.15:</b>	<i>Pérdidas térmicas del servicio de ACS</i>	401
<b>Tabla 19.16:</b>	<i>Pérdidas térmicas recuperables para el servicio de CALEFACCION</i>	402
<b>Tabla 20.1:</b>	<i>Composición de la envolvente térmica viviendas Bermeo. Cerramientos opacos</i>	404
<b>Tabla 20.2:</b>	<i>Composición envolvente térmica viviendas Bermeo. Cerramientos semitransparentes</i>	404
<b>Tabla 20.3:</b>	<i>Valores medios de los cerramientos de las viviendas de BERMEO obtenido de DEHOX</i>	405
<b>Tabla 20.4:</b>	<i>Potencia instalada y calculada por zona BERMEO bloque 1</i>	407
<b>Tabla 20.5:</b>	<i>Potencia instalada y calculada por zona BERMEO bloque 2</i>	408
<b>Tabla 20.6:</b>	<i>Potencias BERMEO</i>	408
<b>Tabla 20.7:</b>	<i>Superficies y volúmenes de los espacios de BERMEO</i>	409
<b>Tabla 20.8:</b>	<i>Superficie habitable BERMEO</i>	410
<b>Tabla 20.9:</b>	<i>Longitud de tuberías de tramos generales</i>	414
<b>Tabla 20.10:</b>	<i>Longitud de tuberías de tramos generales por tipo</i>	415
<b>Tabla 20.11:</b>	<i>Distribución de las tuberías de calefacción en las viviendas</i>	417
<b>Tabla 20.12:</b>	<i>Resumen tipo de tuberías en el edificio de BERMEO (distancia en m)</i>	417
<b>Tabla 20.13:</b>	<i>Resumen tipo de tuberías en el edificio de BERMEO (distancia en m)</i>	418
<b>Tabla 20.14:</b>	<i>Sondas temperatura de BERMEO</i>	420
<b>Tabla 20.15:</b>	<i>Válvulas motorizadas para regulación de BERMEO</i>	421
<b>Tabla 20.16:</b>	<i>Equipos medida de BERMEO</i>	421
<b>Tabla 20.17:</b>	<i>Características de las calderas BERMEO</i>	427



<b>Tabla 20.18:</b> Escalones de potencia disponibles BERMEO .....	427
<b>Tabla 20.19:</b> Intercambiador térmico ACS BERMEO .....	427
<b>Tabla 20.20:</b> Bombas BERMEO .....	428
<b>Tabla 20.21:</b> Potencias eléctricas equipos BERMEO .....	428
<b>Tabla 20.22:</b> Número de viviendas SAN FERNANDO .....	430
<b>Tabla 20.23:</b> Composición de cerramientos opacos SAN FERNANDO .....	430
<b>Tabla 20.24:</b> Composición de huecos SAN FERNANDO .....	430
<b>Tabla 20.25:</b> Valores medios de los cerramientos viviendas de SAN FERNANDO obtenido de DEHOX ...	431
<b>Tabla 20.26:</b> Superficies de espacios SAN FERNANDO .....	432
<b>Tabla 20.27:</b> Superficies de espacios SAN FERNANDO resumen .....	433
<b>Tabla 20.28:</b> Longitud de las tuberías principales .....	437
<b>Tabla 20.29:</b> Longitud total de las tuberías principales .....	438
<b>Tabla 20.30:</b> Sondas temperatura SAN FERNANDO .....	438
<b>Tabla 20.31:</b> Válvulas de regulación SAN FERNANDO .....	439
<b>Tabla 20.32:</b> Contadores de energía SAN FERNANDO .....	439
<b>Tabla 20.33:</b> Calderas SAN FERNANDO .....	442
<b>Tabla 20.34:</b> Quemadores SAN FERNANDO .....	443
<b>Tabla 20.35:</b> Características intercambiador de ACS SAN FERNANDO .....	443
<b>Tabla 20.36:</b> Bombas de circulación en SAN FERNANDO .....	444
<b>Tabla 20.37:</b> Potencia eléctrica de los equipos .....	444

## Índice de imágenes

<b>Imagen 1.1:</b> Distribución del consumo en el sector Edificios (2010). Fuente IDAE.	37
<b>Imagen 1.2:</b> Distribución del consumo energía final edificios de VIVIENDAS (2010). Fuente IDAE.	37
<b>Imagen 1.3:</b> Distribución del consumo energía final sector edificios TERCARIO (2010). Fuente IDAE.	38
<b>Imagen 1.4:</b> Impresión de las normas CEN en las que se apoya las Directivas europeas y Planes de Acción Energética de España para el año 2020.	38
<b>Imagen 2.1:</b> Dependencia energética. Fuente: EUROSTAT (2009)/MITyC (2010)	43
<b>Imagen 2.2:</b> Consumo de energía primaria por fuentes propias y grado de autoabastecimiento. Fuente: MIEyT/IDAE. $1tep = 11,628 \text{ MWh} = 1 \cdot 10^7 \text{ kcal}$	44
<b>Imagen 2.3:</b> Evolución de la estructura de consumo de energía final por fuentes energéticas.	45
<b>Imagen 2.4:</b> Evolución del consumo final de energía por sectores. Fuente: MITyC/IDAE	46
<b>Imagen 2.5:</b> Evolución de la estructura sectorial del consumo de energía final. Fuente: MITyC/IDAE	47
<b>Imagen 2.6:</b> Evolución de la energía solar térmica en España. Fuente IDAE	48
<b>Imagen 2.7:</b> Zonas climáticas en Europa	51
<b>Imagen 4.1:</b> Jerarquía normas CEN. Fuente <a href="http://www.iee-cense.eu">www.iee-cense.eu</a>	56
<b>Imagen 4.2:</b> Estructura física de los sistemas de calefacción y ACS	57
<b>Imagen 4.3:</b> Datos del sistema i, subsistema j. Fuente UNE EN 15603	58
<b>Imagen 4.4:</b> Distribución común con a más de un subsistema de emisión	63
<b>Imagen 4.5:</b> Subsistema común de generación que suministra a calefacción como ACS	63
<b>Imagen 4.6:</b> Subsistema común de distribución suministrado por más de un subsistema de generación	63
<b>Imagen 4.7:</b> Aproximación holística. Método iterativo. Conexión de la demanda con el sistema.	64
<b>Imagen 4.8:</b> Aproximación simplificada. Sin iteraciones. Desconexión de demanda y consumo.	65
<b>Imagen 5.1:</b> Pérdidas de emisión por estratificación y posición	70
<b>Imagen 5.2:</b> Pérdidas de emisión por posición. Distancia en mm.	70
<b>Imagen 5.3:</b> Pérdidas de emisión por control $Q_{CLF,ems,ctr}$	71
<b>Imagen 5.4:</b> Pérdidas de emisión por control de la $T_s$ en la zona con radiadores	78
<b>Imagen 5.5:</b> Pérdidas de emisión por control de la $T_s$ en suelo radiante	79
<b>Imagen 5.6:</b> Pérdidas de emisión por posición de la superficie radiante	80
<b>Imagen 5.7:</b> Factor de corrección con control de la temperatura de impulsión constante	86
<b>Imagen 5.8:</b> Retorno invertido y directo	87
<b>Imagen 5.9:</b> Imagen obtenida del borrador de la Guía de Ahorro de Energía: Medidas de Ahorro energético en los circuitos hidráulicos.	88
<b>Imagen 5.10:</b> Factor de energía consumida	89
<b>Imagen 5.11:</b> Factor de corrección para el control de la bomba. Si no se tienen datos se toma $P_{CLF,hdr,max,bmb}/P_{CLF,hdr,bmb} = 1,1$ ; $\Delta p = cte f_{CLF,dst,ctr} = 0,68$ , $\Delta p = vbl f_{CLF,dst,ctr} = 0,52$ .	90
<b>Imagen 5.12:</b> Diferentes controles para las bombas de circulación	91
<b>Imagen 5.13:</b> Factor de corrección para carga parcial	91
<b>Imagen 5.14:</b> Factor de energía consumida $e_{CLF,dst}$ con $P_{CLF,hdr,dst} = 3,61 \text{ W}$	92
<b>Imagen 5.15:</b> Factor de energía consumida $e_{CLF,dst}$ en función de $P_{CLF,hdr,dst}$	93

<i>Imagen 5.16: Funcionamiento intermitente</i>	93
<i>Imagen 5.17: Aproximaciones de las longitudes de las tuberías</i>	99
<i>Imagen 5.18: Representación longitudes de las tuberías TOTAL = <math>L_{CLF,gnr}+L_{CLF,edf}+L_{CLF,cnx}</math></i>	100
<i>Imagen 5.19: Parámetros para el cálculo de la transmitancia térmica lineal para tuberías</i>	101
<i>Imagen 5.20: Pérdidas térmicas no recuperables en el subsistema de distribución</i>	103
<i>Imagen 5.21: Pérdidas térmicas recuperadas en el subsistema de distribución</i>	103
<i>Imagen 5.22: Caudal constante y temperatura de impulsión variable. Condiciones de diseño (válvula mezcladora)</i>	105
<i>Imagen 5.23: Caudal variable y temperatura de impulsión fija (válvula desviadora)</i>	106
<i>Imagen 5.24: Control termostático</i>	106
<i>Imagen 5.25: Subsistema de generación incluye sólo el generador</i>	107
<i>Imagen 5.26: Bomba físicamente dentro de la caldera</i>	107
<i>Imagen 5.27: Bombas dedicadas a los requisitos del generador</i>	107
<i>Imagen 5.28: Potencia eléctrica del generador a plena carga</i>	114
<i>Imagen 5.29: Potencia eléctrica del generador a carga intermedia</i>	114
<i>Imagen 5.30: Pérdida térmica del generador cuando <math>\Phi_{gnr,p8} &lt; \Phi_{gnr,pint}</math></i>	116
<i>Imagen 5.31: Pérdida térmica del generador cuando <math>\Phi_{p8} &gt; \Phi_{pint}</math></i>	116
<i>Imagen 5.32: Temperatura de generador (gnr) y sistema de generación (gen). <math>V_{CLF,gnr} = V_{CLF,gen}</math>. SAES: Sistema de Alimentación, Expansion y Seguridad.</i>	124
<i>Imagen 5.33: Temperatura impulsión, retorno y medias de generador (gnr) y sistema de generación (gen). <math>V_{CLF,gnr} &gt; V_{CLF,gen}</math>. SAES: Sistema de Alimentación, Expansion y Seguridad.</i>	125
<i>Imagen 5.34: Temperatura impulsión, retorno y medias de generador (gnr) y sistema de generación (gen). <math>V_{CLF,gnr} &lt; V_{CLF,gen}</math>. SAES: Sistema de Alimentación, Expansion y Seguridad.</i>	125
<i>Imagen 5.35: Potencia térmica dispositivos auxiliares</i>	128
<i>Imagen 5.36: Pérdidas térmicas con el quemador encendido</i>	129
<i>Imagen 5.37: Pérdidas térmicas por la envolvente</i>	131
<i>Imagen 5.38: Pérdidas con el quemador apagado (arrancadas y paradas)</i>	132
<i>Imagen 5.39: Generadores de una etapa</i>	134
<i>Imagen 5.40: Gasto de energía en generadores de una etapa. El área del gráfico indica la energía</i>	135
<i>Imagen 5.41: Generadores multietapa (dos etapas)</i>	136
<i>Imagen 5.42: Generadores modulantes</i>	136
<i>Imagen 5.43: Posibles dos situaciones generadores multietapa y modulantes</i>	137
<i>Imagen 5.44: Potencia eléctrica mínima del quemador</i>	138
<i>Imagen 5.45: 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</i>	138
<i>Imagen 5.46: Caldera de condensación</i>	140
<b>Imagen 5.47: Conexión entre la temperatura del agua de retorno y la temperatura del gas de combustión</b>	141
<b>Imagen 6.1: Zona única y sistema único</b>	148
<b>Imagen 6.2: Zona única y sistema múltiples</b>	148

<b>Imagen 6.3:</b> Zona múltiple y sistema único _____	149
<b>Imagen 6.4:</b> Circuitos individuales y de recirculación _____	154
<b>Imagen 6.5:</b> Circuitos individuales y de recirculación _____	154
<b>Imagen 6.6:</b> Longitud tubos individuales en viviendas unifamiliares _____	157
<b>Imagen 6.7:</b> Secciones en la distribución de ACS. _____	160
<b>Imagen 7.1:</b> Equilibrio térmico para una instalación solar para precalentamiento con y sin apoyo _____	169
<b>Imagen 7.2:</b> Instalación solar con intercambiador _____	173
<b>Imagen 8.1:</b> Requisitos mínimos de consumo para edificios de nueva construcción _____	181
<b>Imagen 8.2:</b> Nivel de rentabilidad óptimo. Fuente: Presentación de D. Servando Álvarez del congreso de Energía Casi Nulo. Mayo 2012. _____	182
<b>Imagen 8.3:</b> Objetivo intermedio y objetivo final. Fuente: Presentación de D. Servando Álvarez del congreso de Energía Casi Nulo. Mayo 2012. _____	183
<b>Imagen 8.4:</b> Consumo de energía primaria no renovable (calefacción y refrigeración) para bloques _____	185
<b>Imagen 8.5:</b> Consumo de energía primaria no renovable (EPnR) en calefacción, edificios en bloque _____	185
<b>Imagen 8.6:</b> Consumo de energía primaria no renovable (EPnR) en refrigeración, edificios en bloque _____	186
<b>Imagen 9.1:</b> Comparación de demanda en LIDER y GT _____	190
<b>Imagen 9.2:</b> Comparación de consumos en CALEFACCION en CALENER VyP y normas CEN _____	191
<b>Imagen 9.3:</b> Consumos en función del subsistema de climatización a partir de la demanda _____	192
<b>Imagen 9.4:</b> Comparación de consumos en ACS en CALENER VyP y normas CEN _____	192
<b>Imagen 9.5:</b> Comparación de consumos en ACS en CALENER VyP y CEN con aporte solar _____	193
<b>Imagen 9.6:</b> Gráfica obtenida en el programa CALAENR GT consumo de combustible de la cadera _____	193
<b>Imagen 9.7:</b> Comparación de consumos en CALEFACCION en CALENER GT y CEN _____	194
<b>Imagen 9.8:</b> Consumos en función del subsistema de climatización a partir de la demanda _____	195
<b>Imagen 9.9:</b> Comparación de consumos en ACS en CALENER GT y normas CEN _____	195
<b>Imagen 9.10:</b> Comparación de consumos en ACS en CALENER GT y CEN con aporte solar _____	196
<b>Imagen 9.11:</b> Consumos eléctricos de los equipos auxiliares _____	196
<b>Imagen 9.12:</b> Pérdidas de los subsistemas. Demanda inicial obtenida de CALENER VyP. _____	197
<b>Imagen 9.13:</b> Pérdidas de los subsistemas. Demanda inicial ACS 4,22 kWh/día. _____	198
<b>Imagen 10.1:</b> Datos reales de BERMEO _____	200
<b>Imagen 10.2:</b> Demandas teórica obtenida de LIDER y corregida (ajustado) con el horario de uso real. _____	202
<b>Imagen 10.3:</b> Consumo eléctrico bombas con valores tabulados de CEN y reales del edificio bloque 1. _____	206
<b>Imagen 10.4:</b> Longitudes de las tuberías estimadas según normas CEN y reales. _____	208
<b>Imagen 10.5:</b> Pérdidas térmicas distribución calefacción con valores CEN y reales bloque 1 y 2. _____	209
<b>Imagen 10.6:</b> Longitudes de las tuberías estimadas según normas CEN y reales. _____	210
<b>Imagen 10.7:</b> Pérdidas térmicas distribución de ACS con valores tabulados de CEN y reales. _____	212
<b>Imagen 10.8:</b> Energía aportada por el sol estimada en función de los valores reales y estimados _____	215
<b>Imagen 10.9:</b> Energía aportada por el sol estimada en función de los valores reales y estimados y real medida _____	215

<b>Imagen 10.10:</b> Pérdidas de energía en el generador en función de los valores reales y estimados para el servicio de calefacción	219
<b>Imagen 10.11:</b> Pérdidas de energía en el generador en función de los valores reales y estimados para el servicio de ACS	220
<b>Imagen 10.12:</b> Consumo reales vs CEN con valores propuestos y reales.	223
<b>Imagen 10.13:</b> Consumo reales vs CALENR VyP.	224
<b>Imagen 10.14:</b> Consumos servicio de calefacción con horarios sin corregir y corregidos	224
<b>Imagen 10.15:</b> Consumo reales vs CALENR GT.	225
<b>Imagen 10.16:</b> Consumo reales vs estimados.	226
<b>Imagen 10.17:</b> Consumo reales vs CEN con valores propuestos y reales.	226
<b>Imagen 10.18:</b> Consumo reales vs CALENR VyP.	226
<b>Imagen 10.19:</b> Consumo reales vs CALENR GT.	227
<b>Imagen 10.20:</b> Consumo reales vs CALENR GT.	227
<b>Imagen 11.1:</b> Rendimiento en función del estado de carga para el caso de calefacción. Representación gráfica que sigue las ecuaciones 14-11, 14-12, 14-13, 14-14, 14-15 y 14-16	230
<b>Imagen 11.2:</b> Estimación actual del consumo por parte de los programas CALENER.	231
<b>Imagen 11.3:</b> Estimación propuesta para el consumo por parte de los programas CALENER.	232
<b>Imagen 11.4:</b> Parámetros para el cálculo de la transmitancia térmica lineal para tuberías. Caso mostrado calefacción	242
<b>Imagen 11.5:</b> Estimación propuesta para longitud de tuberías de CLF, montantes.	243
<b>Imagen 11.6:</b> Secciones en la distribución de un sistema central	244
<b>Imagen 11.7:</b> Valores reales de las tuberías (BLQ I y BLQ II), estimados según normas (CEN BLQ I y CEN BLQ II) y nueva estimación propuesta (TESIS BLQ I y TESIS BLQ II) en el sistemas de calefacción.	245
<b>Imagen 11.8:</b> Estimación propuesta para longitud de tuberías de ACS.	246
<b>Imagen 13.1:</b> Evolución de la intensidad final en España y la UE. Fuente: EnR/IDAE. UE 15: Alemania, Austria, Bélgica, Dinamarca, España, Finlandia, Francia, Grecia, Irlanda, Italia, Luxemburgo, Países Bajos, Portugal, Reino Unido y Suecia	263
<b>Imagen 13.2:</b> Intensidad final a paridad de poder de compra. Fuente: IDAE	264
<b>Imagen 13.3:</b> Intensidad energética en el sector vivienda con correcciones climáticas en España y UE. Fuente: IDAE /INE	264
<b>Imagen 13.4:</b> Intensidad de energía eléctrica en el sector vivienda. Fuente: IDAE	265
<b>Imagen 13.5:</b> Intensidad de energía en el sector terciario. Fuente: IDAE	265
<b>Imagen 13.6:</b> Intensidad de energía eléctrica en el sector terciario. Fuente: IDAE	265
<b>Imagen 13.7:</b> Evolución del número de empleados a tiempo completo y número de habitantes	268
<b>Imagen 13.8:</b> Evolución de viviendas en España	268
<b>Imagen 13.9:</b> Distribución de calificación energética de nuevas viviendas	269
<b>Imagen 13.10:</b> Evolución de electrodomésticos de gama blanca	270
<b>Imagen 13.11:</b> Evolución de electrodomésticos de gama marrón	270
<b>Imagen 13.12:</b> Penetración de electrodomésticos en el sector doméstico en el periodo 2004-2010	271
<b>Imagen 13.13:</b> Penetración de hornos y cocinas en el sector doméstico en el periodo 2004-2010	271
<b>Imagen 13.14:</b> Grados días de calefacción y refrigeración	272

<b>Imagen 13.15:</b> Evolución de consumos Sector Edificios en el periodo 2007-2010. Fuente MITyC/IDAE. E: Consumo de energía en el sector edificación y equipamiento. EV: Consumo energético en viviendas. ET: Consumo energético en edificios terciarios.	273
<b>Imagen 13.16:</b> Evolución de consumos en viviendas en el periodo 2007-2010. Fuente MIEyT/IDAE	273
<b>Imagen 13.17:</b> Evolución de consumo térmico en viviendas. Fuente MIEyT/IDAE	273
<b>Imagen 13.18:</b> Evolución de consumo eléctrico en viviendas. Fuente MIEyT/IDAE	274
<b>Imagen 13.19:</b> Evolución consumo eléctrico electrodomésticos viviendas. Fuente MIEyT/IDAE	274
<b>Imagen 13.20:</b> Evolución de consumo eléctrico de cocinas en viviendas. Fuente MIEyT/IDAE	274
<b>Imagen 13.21:</b> Evolución de consumos en el sector terciario. Fuente MIEyT/IDAE	275
<b>Imagen 13.22:</b> Evolución de consumos térmicos en el sector terciario. Fuente MIEyT/IDAE	275
<b>Imagen 13.23:</b> Evolución de consumos eléctricos en el sector terciario. Fuente MIEyT/IDAE	275
<b>Imagen 13.24:</b> Consumo en el sector terciario (ktep). Fuente IDAE y MIEyT	276
<b>Imagen 13.25:</b> Evolución del porcentaje de consumo térmico en viviendas de 2004-2010	277
<b>Imagen 13.26:</b> Evolución del porcentaje de consumo eléctrico en viviendas de 2004-2010	277
<b>Imagen 13.27:</b> Evolución del porcentaje de consumo térmico en edificios terciarios de 2004-2010	278
<b>Imagen 13.28:</b> Evolución del porcentaje de consumo eléctrico en edificios terciarios de 2004-2010	278
<b>Imagen 13.29:</b> Evolución uso electrodomésticos en sector doméstico en el periodo 2004-2010	279
<b>Imagen 13.30:</b> Evolución de los indicadores M en viviendas	282
<b>Imagen 13.31:</b> Evolución de los indicadores M en edificios terciarios.	282
<b>Imagen 13.32:</b> Evolución de los indicadores P en viviendas	283
<b>Imagen 13.33:</b> Evolución indicadores M para el uso iluminación de 2004 a 2010	284
<b>Imagen 13.34:</b> Evolución de los indicadores M en equipamiento en el periodo 2004-2010 en viviendas	286
<b>Imagen 13.35:</b> Evolución de los indicadores M en equipamiento en edificios terciarios	286
<b>Imagen 13.36:</b> Evolución de los indicadores P4 en electrodomésticos en viviendas	287
<b>Imagen 13.37:</b> Ahorro producido en el marco Plan Renove de electrodomésticos de 2006 a 2010	294
<b>Imagen 13.38:</b> Unidades sustituidas en el marco Plan Renove de electrodomésticos de 2006 a 2010	295
<b>Imagen 13.39:</b> Previsión de la evolución de la población	300
<b>Imagen 13.40:</b> Previsión de la evolución de los hogares	300
<b>Imagen 13.41:</b> Previsión evolución de la clase energética en los edificios. Fuente IDAE	301
<b>Imagen 13.42:</b> Consumo de energía final por sectores. Fuente: Escenarios de planificación energética indicativa prevista en el artículo 79 de la Ley 2/2011 de Economía Sostenible	302
<b>Imagen 13.43:</b> Consumos y ahorros de energía primaria (ktep)	303
<b>Imagen 13.44:</b> Previsión de evolución de la biomasa térmica en edificios	305
<b>Imagen 13.45:</b> Evolución estimada de la superficie de captadores instaladas (miles m <sup>2</sup> ). Fuente IDAE	306
<b>Imagen 13.46:</b> Energía anual (ktep) y captadores instalados acumulados por años. Fuente IDAE	306
<b>Imagen 13.47:</b> Contribución aerotermia, hidrotermia y geotermia en usos térmicos en edificios	307
<b>Imagen 14.1:</b> Ganancias internas, ventilación e infiltración en espacios	311
<b>Imagen 14.2:</b> Calendario por defecto. Se asume como horario nocturno desde la hora 1 hasta la hora 8 ambas inclusive.	312

<i>Imagen 14.3: Usos horarios predefinidos en CALENER VvP.</i>	313
<i>Imagen 14.4: Ocupación sensible viviendas. Umbrales 2,15, 1,08 (50%) y 0,54 (25%) W/m<sup>2</sup></i>	314
<b>Imagen 14.5:</b> <i>Ocupación latente viviendas. Umbrales 1,36, 0,68(50%) y 0,34 (25%) W/m<sup>2</sup>.</i>	314
<b>Imagen 14.6:</b> <i>Carga sensible viviendas iluminación. Toda la potencia térmica aquí representada es sensible (no hay latente). Los valores umbrales son 4,4, 2,2 (50%), 1,32 (30%) y 0,44 (10%) W/m<sup>2</sup>.</i>	314
<b>Imagen 14.7:</b> <i>Carga sensible viviendas equipos. Toda la potencia térmica aquí representada es sensible (no hay latente). Los valores umbrales son 4,4, 2,2, 1,32 y 0,44 W/m<sup>2</sup>. Se observa que los valores y perfil horario es idéntico al de la iluminación.</i>	314
<b>Imagen 14.8:</b> <i>Temperatura de consigna asumidos en viviendas</i>	315
<b>Imagen 14.9:</b> <i>Niveles de ventilación asumidos en viviendas</i>	315
<b>Imagen 14.10:</b> <i>Corrección de la transmitancia térmica debida a las persianas integradas en los acristalamientos</i>	316
<b>Imagen 14.11:</b> <i>Carga sensible terciario ocupación 8h (7-14 h laboral y sábado). Para intensidad baja (la representada) el valor umbral es 2 W/m<sup>2</sup>. Para intensidad media el valor umbral es 6 W/m<sup>2</sup>. Para intensidad alta el valor umbral es 10 W/m<sup>2</sup></i>	316
<b>Imagen 14.12:</b> <i>Carga latente terciario ocupación 8h (7-14 h laboral y sábado). Para intensidad baja (la representada) el valor umbral es 1,26 W/m<sup>2</sup>. Para intensidad media el valor umbral es 3,79 W/m<sup>2</sup>. Para intensidad alta el valor umbral es 6,31 W/m<sup>2</sup>.</i>	317
<b>Imagen 14.13:</b> <i>Carga sensible terciario iluminación 8h (7-14 h laboral y sábado). Coincide para cualquier intensidad. Como se observa es un horario tipo fracción, que tomará el valor umbral que se especifique en el programa para cada espacio.</i>	317
<b>Imagen 14.14:</b> <i>Carga sensible terciario equipos 8h (7-14 h laboral y sábado). Para intensidad baja (la representada) el valor umbral es 1,5 W/m<sup>2</sup>. Para intensidad media el valor umbral es 5 W/m<sup>2</sup>. Para intensidad alta el valor umbral es 7,5 W/m<sup>2</sup></i>	317
<b>Imagen 14.15:</b> <i>Ventilación terciario 8h (7-14 h laboral y sábado). Coincide para cualquier intensidad. Como se distingue es un horario tipo fracción, que tomara el valor umbral que se especifique en el programa para cada espacio como renovaciones/hora (en función de la calidad de aire interior pretendida IDA, según RITE).</i>	317
<b>Imagen 14.16:</b> <i>Temperatura de consigna asumidos en edificios terciarios en CALENER VvP 8h. En época de invierno, la temperatura de consigna nunca estará por debajo de 20°C, y en época de verano esta nunca superara el valor de 25°C. Coincide para cualquier intensidad</i>	318
<b>Imagen 14.17:</b> <i>Carga sensible terciario ocupación 12h (laboral 7-14h y 17-20h y sábados de 7-14h). Para intensidad baja (la representada) el valor umbral es 2 W/m<sup>2</sup>. Para intensidad media el valor umbral es 6 W/m<sup>2</sup>. Para intensidad alta el valor umbral es 10 W/m<sup>2</sup></i>	318
<b>Imagen 14.18:</b> <i>Carga latente terciario ocupación 12h (laboral 7-14h y 17-20h y sábados de 7-14h). Para intensidad baja (la representada) el valor umbral es 1,26 W/m<sup>2</sup>. Para intensidad media el valor umbral es 3,79 W/m<sup>2</sup>. Para intensidad alta el valor umbral es 6,31 W/m<sup>2</sup></i>	318
<b>Imagen 14.19:</b> <i>Carga sensible terciario iluminación 12h (laboral 7-14h y 17-20h y sábados de 7-14h). Coincide para cualquier intensidad. Como se observa es un horario tipo fracción, que tomara el valor umbral que se especifique en el programa para cada espacio.</i>	319
<b>Imagen 14.20:</b> <i>Carga sensible terciario equipos 12h (laboral 7-14h y 17-20h y sábados de 7-14h). Para intensidad baja (la representada) el valor umbral es 1,5 W/m<sup>2</sup>. Para intensidad media el valor umbral es 5 W/m<sup>2</sup>. Para intensidad alta el valor umbral es 7,5 W/m<sup>2</sup></i>	319
<b>Imagen 14.21:</b> <i>Horario ventilación terciario 12h (laboral 7-14h y 17-20h y sábados de 7-14h). Coincide para cualquier intensidad. Es un horario tipo fracción, que tomara el valor umbral que se indique en la opción del programa, dentro de cada espacio, que nos soliciten la ventilación, en ren/h.</i>	319

- Imagen 14.22:** Temperatura de consigna asumidos en edificios terciarios en CALENER VyP 12h. En época de invierno, la temperatura de consigna nunca estará por debajo de 20°C, y en época de verano esta nunca superará el valor de 25°C. Coincide para cualquier intensidad \_\_\_\_\_ 319
- Imagen 14.23:** Carga sensible terciario ocupación 16h (7-22 h laboral y sábado 7-14h). Para intensidad baja (la representada) el valor umbral es 2 W/m<sup>2</sup>. Para intensidad media el valor umbral es 6 W/m<sup>2</sup>. Para intensidad alta el valor umbral es 10 W/m<sup>2</sup> \_\_\_\_\_ 320
- Imagen 14.24:** Carga latente terciario ocupación 16h (7-22 h laboral y sábado 7-14h). Para intensidad baja (la representada) el valor umbral es 1,26 W/m<sup>2</sup>. Para intensidad media el valor umbral es 3,79 W/m<sup>2</sup>. Para intensidad alta el valor umbral es 6,31 W/m<sup>2</sup> \_\_\_\_\_ 320
- Imagen 14.25:** Carga sensible terciario iluminación 16h (7-22 h laboral y sábado 7-14h). Coincide para cualquier intensidad. Como se advierte es un horario tipo fracción, que tomara el valor umbral que se indique en la opción del programa, dentro de cada espacio, que nos soliciten la potencia instalada en iluminación \_\_\_\_\_ 320
- Imagen 14.26:** Carga sensible terciario equipos 16h (7-22 h laboral y sábado 7-14h). Para intensidad baja (la representada) el valor umbral es 1,5 W/m<sup>2</sup>. Para intensidad media el valor umbral es 5 W/m<sup>2</sup>. Para intensidad alta el valor umbral es 7,5 W/m<sup>2</sup> \_\_\_\_\_ 321
- Imagen 14.27:** Nivel de ventilación terciario 16h (7-22 h laboral y sábado 7-14h). Coincide para cualquier intensidad. Como se nota es un horario tipo fracción, que tomara el valor umbral que se indique en la opción del programa, dentro de cada espacio, que nos soliciten la ventilación, en ren/h. \_\_\_\_\_ 321
- Imagen 14.28:** Temperatura de consigna asumidos en edificios terciarios en CALENER VyP 16h. Los sábados sólo se leen las horas que van desde las 7 a las 15 h. En época de invierno, la temperatura de consigna nunca estará por debajo de 20°C, y en época de verano esta nunca superará el valor de 25°C. Coincide para cualquier intensidad \_\_\_\_\_ 321
- Imagen 14.29:** Carga sensible terciario ocupación 24h (0-23 h laboral y sábado 7-14h). Para intensidad baja (la representada) el valor umbral es 2 W/m<sup>2</sup>. Para intensidad media el valor umbral es 6 W/m<sup>2</sup>. Para intensidad alta el valor umbral es 10 W/m<sup>2</sup> \_\_\_\_\_ 322
- Imagen 14.30:** Carga latente terciario ocupación 24h (0-23 h laboral y sábado 7-14h). Para intensidad baja (la representada) el valor umbral es 1,26 W/m<sup>2</sup>. Para intensidad media el valor umbral es 3,79 W/m<sup>2</sup>. Para intensidad alta el valor umbral es 6,31 W/m<sup>2</sup> \_\_\_\_\_ 322
- Imagen 14.31:** Iluminación terciario 24h (0-23 h laboral y sábado 7-14h). Coincide para cualquier intensidad. Como se ve es un horario tipo fracción, que tomara el valor umbral que se indique en la opción del programa, dentro de cada espacio, que nos soliciten la potencia instalada en iluminación \_\_\_\_\_ 322
- Imagen 14.32:** Carga sensible terciario equipos 24h (0-23 h laboral y sábado 7-14h). Para intensidad baja (la representada) el valor umbral es 1,5 W/m<sup>2</sup>. Para intensidad media el valor umbral es 5 W/m<sup>2</sup>. Para intensidad alta el valor umbral es 7,5 W/m<sup>2</sup> \_\_\_\_\_ 322
- Imagen 14.33:** Ventilación terciario ocupación 24h (0-23 h laboral y sábado 7-14h). Coincide para cualquier intensidad. Como se percibe es un horario tipo fracción, que tomara el valor umbral que se indique en la opción del programa, dentro de cada espacio, que nos soliciten la ventilación, en ren/h. \_\_\_\_\_ 323
- Imagen 14.34:** Temperatura de consigna asumidos en edificios terciarios en CALENER VyP 24h. Los sábados sólo se leen las horas que van desde las 7 a las 15 h. En época de invierno, la temperatura de consigna nunca estará por debajo de 20°C, y en época de verano esta nunca superará el valor de 25°C. Coincide para cualquier intensidad \_\_\_\_\_ 323
- Imagen 14.35:** Temperatura de consigna asumidos en edificios terciarios en CALENER GT. En época de invierno, la temperatura de consigna nunca estará por debajo de 20°C, y en época de verano esta nunca superará el valor de 25°C. Coincide para cualquier intensidad \_\_\_\_\_ 324
- Imagen 14.36:** Carga sensible vivienda. Valor umbral máximo es 3,06y mínimo 0,68 W/m<sup>2</sup>. \_\_\_\_\_ 324
- Imagen 14.37:** Carga latente vivienda. Valor umbral máximo es 0,99y mínimo 0,22 W/m<sup>2</sup>. Aproximadamente el 33% de los valores de carga sensible. \_\_\_\_\_ 324
- Imagen 14.38:** Iluminación vivienda. Valor umbral máximo es 4,5y mínimo 0,5 W/m<sup>2</sup>. \_\_\_\_\_ 325



<b>Imagen 14.39:</b> Carga sensible equipamiento viviendas. Umbral máximo 4,5y mínimo 1 W/m <sup>2</sup> .	325
<b>Imagen 14.40:</b> Infiltración viviendas.	325
<b>Imagen 14.41:</b> Perfil horario de ACS en viviendas	325
<b>Imagen 14.42:</b> Datos para la demanda de ACS en VyP	327
<b>Imagen 14.43:</b> Demanda ACS (Q <sub>ACS</sub> ) vivienda unifamiliar de 120 m <sup>2</sup> . Total 5,9 kWh/día.	328
<b>Imagen 14.44:</b> Demanda ACS (Q <sub>ACS</sub> ) vivienda en bloque de 60 m <sup>2</sup> . Total 2,2 kWh/día.	328
<b>Imagen 14.45:</b> Demanda ACS (Q <sub>ACS</sub> ) vivienda por defecto en CALENER GT. Total 9,8 kWh/día.	328
<b>Imagen 14.46:</b> Sistema de caldera más radiadores	330
<b>Imagen 14.47:</b> Rendimiento en función del estado de carga.	331
<b>Imagen 14.48:</b> Consumo en función del estado de carga.	332
<b>Imagen 14.49:</b> Rendimiento en función del estado de tiempo.	332
<b>Imagen 14.50:</b> Consumo en función del estado de tiempo.	333
<b>Imagen 14.51:</b> Sistemas de climatización en el programa CALENER GT	333
<b>Imagen 14.52:</b> Sistema de calefacción con bomba de calor agua-agua.	334
<b>Imagen 14.53:</b> Sistema de calefacción con caldera	335
<b>Imagen 14.54:</b> Sistema de ACS	335
<b>Imagen 14.55:</b> Sistema primarios	336
<b>Imagen 14.56:</b> Subsistemas secundarios	336
<b>Imagen 14.57:</b> Nivel de sistema y nivel de zona	337
<b>Imagen 14.58:</b> Conexión de subsistemas	337
<b>Imagen 14.59:</b> Radiadores o suelo radiante	339
<b>Imagen 14.60:</b> Comportamiento de curvas en las bombas	340
<b>Imagen 14.61:</b> Curvas de rendimiento eléctrico en calderas.	341
<b>Imagen 14.62:</b> Curvas de consumo eléctrico en calderas.	341
<b>Imagen 14.63:</b> Curvas de rendimiento térmico en calderas.	342
<b>Imagen 14.64:</b> Curvas de consumo térmico en calderas.	342
<b>Imagen 14.65:</b> Curvas de rendimiento térmico en generadores de ACS.	343
<b>Imagen 14.66:</b> Consumo en función del estado de tiempo.	343
<b>Imagen 14.67:</b> Variación de la potencia calorífica con $f_{cp_{\Delta T}}$	344
<b>Imagen 14.68:</b> Variación de la potencia calorífica con $f_{cp_{agua}}$	344
<b>Imagen 18.1:</b> Rendimiento medios estacional programa CE <sup>3</sup> X	373
<b>Imagen 18.2:</b> Rendimiento obtenidos del rendimiento a plena carga	377
<b>Imagen 18.3:</b> Rendimiento obtenidos del rendimiento a carga intermedia	377
<b>Imagen 19.1:</b> Rendimiento estacional total por el método de tipología de caldera (kWh/año/m <sup>2</sup> ).	388
<b>Imagen 19.2:</b> Rendimiento estacional total por el método de eficiencia de caldera (kWh).	391
<b>Imagen 19.3:</b> Rendimiento estacional total por el método cíclico de caldera (kWh/año/m <sup>2</sup> ).	394
<b>Imagen 20.1:</b> Localización geográfica de Bermeo	403
<b>Imagen 20.2:</b> Perspectiva de los dos edificios de Bermeo	403

<b>Imagen 20.3:</b> Sección de viviendas bloque 1 BERMEO	406
<b>Imagen 20.4:</b> Plantas tipo bloque 1 BERMEO. Sección de 50 x 10 m.	406
<b>Imagen 20.5:</b> Plantas tipo bloque 2 BERMEO. Sección de 40 x 9,4 m.	407
<b>Imagen 20.6:</b> Vista edificios en el entorno 3D del programa de referencia LIDER.	408
Imagen 20.7: Calderas de BERMEO	411
Imagen 20.8: Colectores de BERMEO	411
Imagen 20.9: Producción térmica BERMEO	412
<b>Imagen 20.10:</b> Distribución general de tuberías	412
<b>Imagen 20.11:</b> Esquema de distribución general a plantas. Calefacción	413
Imagen 20.12: Distribución viviendas BERMEO	416
<b>Imagen 20.13:</b> Esquema de distribución general a plantas. Calefacción	418
Imagen 20.14: Generación de ACS. Imagen cedida por FACTOR 4.	419
Imagen 20.15: Sondas de temperatura BERMEO	422
Imagen 20.16: Calderas de BERMEO	422
Imagen 20.17: Bombas BERMEO	423
Imagen 20.18: Curva regulación BERMEO	423
Imagen 20.19: Depósito primario ACS BERMEO	424
Imagen 20.20: Sondas térmicas BERMEO	424
Imagen 20.21: Regulación ACS BERMEO	425
Imagen 20.22: Depósitos solar ACS BERMEO	425
Imagen 20.23: Esquema principio ACS BERMEO	426
Imagen 20.24: Paneles solares BERMEO	426
Imagen 20.25: Localización geográfica SAN FERNANDO	429
<b>Imagen 20.26:</b> Edificios SAN FERNANDO	429
<b>Imagen 20.27:</b> Sección SAN FERNANDO	432
Imagen 20.28: Edificio dibujado en LIDER SAN FERNANDO	433
Imagen 20.29: Distribución de tuberías de calefacción por los patios pequeños SAN FERNANDO	434
Imagen 20.30: Calderas SAN FERNANDO	434
Imagen 20.31: Circulación mínima SAN FERNANDO	435
Imagen 20.32: Curvas de comportamiento en función de las condiciones exteriores	435
Imagen 20.33: Depósito ACS SAN FERNANDO	436
Imagen 20.34: Distribución de ACS vista en planta. SAN FERNANDO	436
Imagen 20.35: Distribución de ACS vista en alzado. SAN FERNANDO	436
<b>Imagen 20.36:</b> Esquema de principios de SAN FERNANDO	437
<b>Imagen 20.37:</b> Generadores térmicos SAN FERNANDO	440
<b>Imagen 20.38:</b> Bombas de circulación SAN FERNANDO	440
<b>Imagen 20.39:</b> Acumulador de ACS SAN FERNANDO	441
<b>Imagen 21.1:</b> Armario de regulación	445

**Imagen 21.2:** Patinillo donde están los contadores de energía. \_\_\_\_\_ 446

**Imagen 21.3:** Contadores de agua fría y caliente. \_\_\_\_\_ 446

**Imagen 21.5:** Contadores de energía solar. \_\_\_\_\_ 447

# 1. Introducción y objeto

Se comienza este trabajo doctoral contextualizando el marco legislativo del estudio realizado, los objetivos que se pretenden lograr así como el alcance y limitaciones que han sido necesarias establecer.

## 1.1. Antecedentes

Existe un compromiso mundial<sup>3</sup> para reducir las emisiones de dióxido de carbono (como principal agente del efecto invernadero) para intentar no alcanzar unos niveles globales de 450 ppm<sup>4</sup> de CO<sub>2</sub> en el planeta, o lo que es equivalente, conseguir que la temperatura global del planeta no se eleve más de 2°C con respecto al año 1990<sup>5</sup>.

Para conseguir esto se deben reducir los consumos de productos que utilicen como fuente energética los combustibles fósiles, bien de forma directa (automóviles, calderas,...) o de forma indirecta a través de la generación de energía eléctrica (en el caso del *mix* de generación español, se obtiene en gran medida a partir del consumo de combustibles fósiles en las centrales térmicas, ciclos combinados o centros de cogeneración).

La reducción de estos consumos debe realizarse de forma eficiente, es decir, se debe ahorrar energía pero manteniendo la misma calidad en los servicios prestados.

También se pueden reducir estos consumos, disminuyendo así la gran dependencia que España tiene con los combustibles fósiles, a partir del consumo de energías renovables (inagotables y de origen no fósil).

La presente tesis se enmarca dentro de la eficiencia energética en los edificios (uno de los tres sectores más consumidores en nuestro planeta, por detrás de la industria y el transporte<sup>6</sup>) y la integración de energías renovables dentro del consumo final de los mismos, analizando las exigencias continentales y nacionales en materia de energética edificatoria.

Dentro del paraguas europeo es la Directiva 2002/91/CE [1.1] y su refundición (Directiva 2010/31/UE [1.2] y posterior modificación en la Directiva 2012/27/UE [1.3]) las que dictaminan a los Estados Miembros las disposiciones legales, reglamentarias y administrativas necesarias para fomentar la eficiencia energética en los edificios.

Debido a ello todos los edificios deben poseer<sup>7</sup> un certificado de eficiencia energética que evalúa las emisiones estimadas de dióxido de carbono fósil emitido por el consumo de energía final<sup>8</sup> de las instalaciones de climatización, agua caliente sanitaria e iluminación (este último consumo sólo propuesto en edificios terciarios si así lo considera el Estado Miembro).

Dentro del consumo energético de nuestro país se advertirá que es el sector transporte el mayor consumidor, con el 40 % del consumo final total, basado fundamentalmente en productos petrolíferos (lo que determina la elevada dependencia energética nacional). El siguiente consumidor es la industria, con un 31 % del consumo, a la que siguen el sector edificios, el residencial (19 %) y terciario (10 %).

---

<sup>3</sup> Protocolo de Kioto que entre en vigor el 16 de febrero de 2011

<sup>4</sup> Partes por millón.

<sup>5</sup> La vida es posible en la Tierra porque su temperatura media se encuentra entre los 15°C y los 25°C.

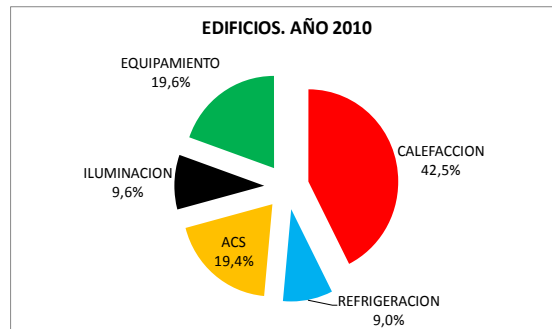
<sup>6</sup> Principal consumidor para los ciudadanos.

<sup>7</sup> Cuando se alquilen, venden o edificios con una superficie mayor de 500 m<sup>2</sup> ocupados por la administración pública y a partir del año 2015 cuando su superficie sea mayor de 250 m<sup>2</sup>.

<sup>8</sup> Debido a la refundición de la Directiva 2002/91/CE este consumo hay que indicarlo también en energía primaria.

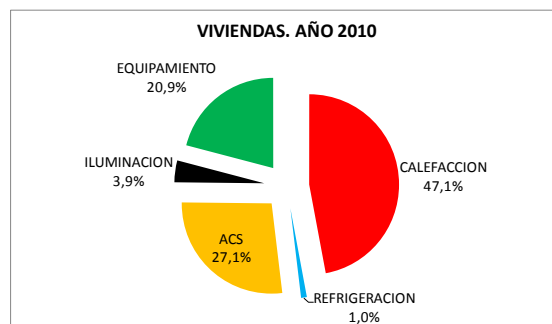
Considerando el año 2010 como referencia, en nuestro país más del 42,5% del consumo de energía dentro de los edificios está destinada al servicio de calefacción, seguido por un 19,6% al agua caliente sanitaria (ACS), un 19,4% es empleado en el equipamiento, un 9,6% se consume en iluminación y un 8,9% en refrigeración.

Por tanto, dentro del sector de los edificios, es el servicio de calefacción el responsable del mayor consumo, seguido del ACS. Se justifica por tanto la elección de estos servicios como sistemas energéticos (mayoritariamente consumidores de energía fósil) a estudiar en este trabajo.



**Imagen 1.1:** Distribución del consumo en el sector Edificios (2010). Fuente IDAE.

En el caso particular de los edificios de viviendas el 47,1 % del consumo se debe a la calefacción, el 27,1 % al agua caliente sanitaria y 20,9 % el equipamiento siendo insignificantes los consumos de iluminación y refrigeración (aire acondicionado<sup>9</sup>).



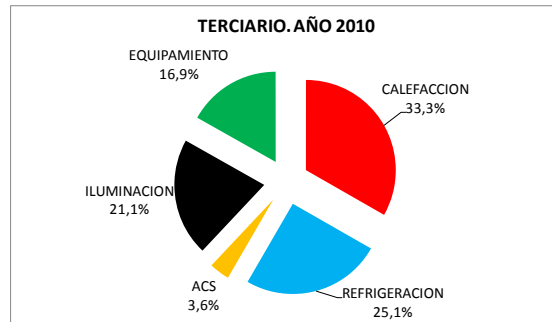
**Imagen 1.2:** Distribución del consumo energía final edificios de VIVIENDAS (2010). Fuente IDAE.

Dentro de los edificios terciarios la distribución porcentual es diferente, la calefacción 33,3%, el aire acondicionado 25,1%, la iluminación 21,1%, el equipamiento 16,9% y el agua caliente sanitaria 3,6%.

La diferencia con el consumo en las viviendas radica en valores más altos para iluminación y refrigeración, mientras que baja considerablemente el agua caliente sanitaria.

---

<sup>9</sup>El aire acondicionado, dada su estacionalidad, no representa a día de hoy un porcentaje de consumo importante, aunque contribuye a generar picos de demanda eléctrica que contribuyen a ocasionar problemas locales en la continuidad del suministro eléctrico en los periodos de verano en que se alcanzan las temperaturas exteriores más altas.



**Imagen 1.3:** Distribución del consumo energía final sector edificios TERCIARIO (2010). Fuente IDAE.

Parece por tanto también justificado que el servicio de calefacción y ACS se estudie sobre edificios de viviendas.

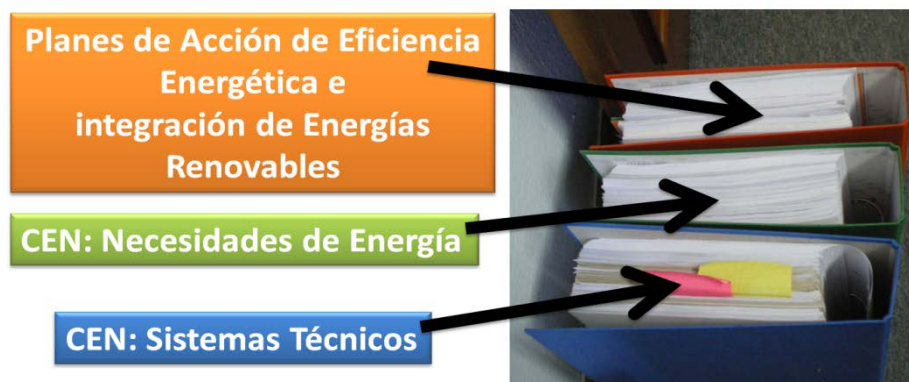
## 1.2. Objetivos

Aunque ya existen en España dentro de su ordenamiento jurídico procedimientos para evaluar los niveles de eficiencia energética en los edificios, los objetivos perseguidos en esta tesis doctoral son los siguientes:

1. Realizar un estudio de investigación dentro de los datos publicados en los Planes de Acción de Eficiencia Energética e Integración de Energías Renovables. En estos planes no se detalla, en términos absolutos, los consumos de energía sectorizados y están muy centrados en justificar los ahorros conseguidos. Se pretende conocer los consumos de energía de los edificios, sectorizados en los servicios de calefacción, refrigeración, agua caliente sanitaria, iluminación y equipos. Además, dentro de cada servicio, se desea conocer qué fuente energética los abastece (térmica o eléctrica).
2. Analizar la extensa legislación europea sobre eficiencia energética de edificios, comunicada por las directivas europeas y desarrolladas específicamente por las normas creadas dentro del Comité Europeo de Normalización y que los estados miembros deben aplicar.

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

Se propone un ejercicio (anexo VII) donde se desarrolla por completo la metodología descrita en cada una de las normas sobre un edificio didáctico que se propondrá al CEN para su inclusión (quizás sobre documento informativo) dentro de las mismas o para su publicación en un anexo nacional.



**Imagen 1.4:** Impresión de las normas CEN en las que se apoya las Directivas europeas y Planes de Acción Energética de España para el año 2020.

Aprovechando la revisión de las normas CEN, se ha propuesto en este trabajo una terminología común entre todas las normas (ya que actualmente no se mantiene en las normas CEN) para tener una mayor comprensión y visión global de las mismas para su aplicación dentro de España.

Se pretende que sirva esta metodología para ser evaluada por el grupo de trabajo de AENOR que ha desarrollado la norma UNE 216501-2009 [1.4] en la que se establecen los requisitos que debe tener una auditoria energética para que, realizada en distintos tipos de organización, pueda ser comparable y describa los puntos clave donde se puede influir para la mejora de la eficiencia energética.

3. Estudiar la legislación española para calcular la eficiencia energética en edificios y efectuar un estudio profundo de los programas de simulación computacional utilizados como herramientas para un posterior análisis.
4. Analogías y diferencias encontradas sobre las directrices marcadas en las normas CEN y la legislación actual y su impacto energético.
5. Comprobación mediante simulación computacional y medidas reales<sup>10</sup> de dos edificios de viviendas, analizando si los valores de consumo estimados en la simulación se aproximan a los reales.

Esta comprobación debería velar por los derechos que los consumidores<sup>11</sup> tienen a recibir una información correcta, objetiva, cierta, eficaz, comprensible y suficiente de todos los productos, bienes y servicios puestos a su disposición.

Evidentemente, la información que se debe recibir no es la misma cuando compara un bolígrafo o cuando adquiere una casa. Actualmente el comprador o inquilino de un edificio tiene derecho (RD 235/2013 [1.5]) a saber cuál es su calificación energética conociendo como mínimo su etiqueta energética y lo que significa. En esta aparece el consumo energético del edificio bajo unas características ocupacionales y funcionales fijadas.

Se comprobará por tanto en esta tesis si está información es la real del edificio, o en cambio, es muy diferente al consumo real y por tanto la información que recibe el comprador o inquilino se debe utilizar sólo de forma relativa (un edificio con calificación energética A siempre emitirá menos CO<sub>2</sub> fósil que un edificio B, aunque los valores estimados no sean los reales).

Quedaría por tanto también clara la información para realizar la selección y la elección final fundamentada, como se verá, no bajo criterios medioambientales, sino de consumo.

Se evidenciará que 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 (función del tipo de caldera y de la distribución temporal de la carga térmica del edificio), y del sistema de distribución, emisión y control (función del tipo, dimensión y condiciones climáticas exteriores).

---

<sup>10</sup>Debido a las diferencias en el modo en que se obtienen estas dos evaluaciones, no pueden compararse directamente. Sin embargo, la diferencia entre las dos evaluaciones para el mismo edificio puede utilizarse para evaluar los efectos acumulativos reales de la construcción, sistemas y condiciones de funcionamiento frente a los de la norma y la contribución de los consumos energéticos no incluidos en la evaluación energética calculada.

<sup>11</sup>Ley de Defensa de Consumidores y Usuarios Real Decreto Legislativo 1/2007, aprobado el 16 de noviembre de 2007.

6. Evaluación de los valores que por defecto proponen las normas CEN para los datos que no se conocen o no pueden obtenerse sobre los dos edificios visitados, comprobando si estos son trasladables a la tipología edificatoria de nuestro país o, por lo contrario, se deben obtener del proyecto o medir los del edificio ya ejecutado (hecho fundamental para la certificación energética de edificios existentes).
7. Evaluar energéticamente posibles subsistemas a incorporar en la metodología de análisis de eficiencia energética de un edificio en España y que actualmente no se están considerando (aunque así lo proponen las normas redactadas por el Comité Europeo de Normalización, CEN, para apoyar a la Directiva de Eficiencia Energética en los Edificios) y que por su impacto energético se debiera considerar. El interés en establecer con relativa precisión dicha evaluación va a mejorar los análisis energéticos en dos vertientes:
  - De una parte, mejorar las estimaciones que en el proceso de certificación energética se realizan sobre el consumo de los edificios (en estos momentos sólo se tiene en cuenta el término de generación, con lo que las estimaciones realizadas y las medidas de mejora propuestas podría discrepar de la realidad fuertemente). Conocer este rendimiento podría servir además para poder simular instalaciones de calor que no están recogidas en los programas reconocidos de certificación energética y se podría introducir con el equipo unizona que se denomina de “*rendimiento estacional conocido*”.
  - De otra parte a la hora de realizar inspecciones y auditorías energéticas en un edificio, el conocer un valor aproximado del rendimiento medio estacional real (y su descomposición en los subsistemas de generación, distribución, emisión y control) permitirá estimar de una forma rápida si el ratio de consumo del edificio está dentro de un orden de magnitud aceptable, e incluso orientar las mejoras con precisión en los diferentes apartados antes mencionados.

### 1.3. Metodología

Tras varios años trabajando en temas relacionados con la evaluación de la eficiencia energética, se consideró necesario comprobar la metodología actual que se está utilizando en España para el análisis energético de los edificios y compararla con lo que nos indican desde Europa y valorar qué procedimientos incorporar en nuestras herramientas (RD 235/2013[1.5]).

Para ello, se analiza en primer lugar la importancia que en el consumo de energía del país tiene el sector de edificios. En segundo lugar se procede a la lectura de las normas CEN planteando un resumen de las mismas y una necesaria notación (nomenclatura) global común.

A continuación se analiza la legislación española referente a la eficiencia energética en los edificios, juzgando los valores que por defecto se asumen en los programas de simulación computacional que se utilizan como herramientas para comprobar la legislación y analizando qué subsistemas no están contemplados y si debieran estarlo según las normas CEN.

Para esto se plantea un ejercicio teórico donde se aplican todas las normas sobre un mismo caso (este ejercicio no está planteado dentro de las normas CEN y se cree fundamental para poder aplicar los procedimientos que se plantean dentro de las mismas), para ver su interconexión, valoración y peso de cada subsistema analizado.

Sobre dos edificios existentes se ha desarrollado las metodologías propuestas por las normas CEN y las reguladas en el RD 235/2013 [1.5] para compararlas. El hecho de compararlas sobre edificios reales permite comparar la estimación de consumos realizadas con los valores reales.

Finalmente se plantean las conclusiones finales y propuesta de una nueva metodología a incorporar en la evaluación de eficiencia energética en nuestro país (aquellas que proponen las normas CEN y más repercuten en el consumo de energía final).



## 1.4. Alcance

La metodología de eficiencia energética se concentra en nuestro país en los servicios de calefacción, refrigeración y agua caliente sanitaria para los edificios de viviendas y además el servicio de iluminación en los edificios terciarios.

El alcance de esta tesis doctoral abarca sólo las instalaciones térmicas que abastecen las demandas de calefacción y agua caliente sanitaria constituidas por generadores, caldera o calentadores. Por tanto las limitaciones de este estudio son las innatas de su alcance, pero como se citó anteriormente, son estas instalaciones las que más contribuyen al consumo total de las instalaciones térmicas dentro los edificios. Aun así, muchos de los procedimientos y conclusiones alcanzadas son conceptualmente extrapolables a otras posibilidades de sistemas para abastecer las mismas demandas o para otros servicios.

El consumo energético de estos servicios en los edificios es directamente proporcional a la demanda energética e inversamente proporcional a las prestaciones de las instalaciones térmicas de los equipos que la forman. En este trabajo sólo se analiza la valoración de las prestaciones de los equipos para estimar el consumo energético, no de las demandas, que se supone son correctas y realizadas según las normas CEN y se obtendrán de los programas LIDER y CALENER GT a través del postCALENER.

Se ha decidido analizar en profundidad las instalaciones térmicas porque las normas CEN proponen una metodología muy general para análisis de las mismas, que cada estado miembro, debe adaptar a las diferentes tipologías que dan solución a los sistemas térmicos de cada país (sobre todo los valores que se proponen por defecto para ciertas partes de los subsistemas).

## 1.5. Contenido

El estudio de esta tesis se centra en primer lugar en evaluar la eficiencia energética de los edificios y aplicar ésta sobre dos edificios reales, uno de reciente construcción de tipo viviendas en bloque, otro un edificio antiguo que ha sufrido una reciente renovación de su sistema de generación térmica también de viviendas.

El motivo de esta selección es que en estos edificios se cuenta con sistemas de generación térmica por combustión para abastecer sólo los servicios de calefacción y ACS (contabilización de consumo de energía independiente), no hay equipos con compresores eléctricos (bombas de calor) en los que generalmente los datos de su consumo eléctrico de energía no están disgregados del consumo eléctrico propio del edificio debido a instalaciones de equipamiento y luminarias.

Los objetivos conseguidos en este trabajo doctoral han sido:

1. Conocer el consumo energético de los edificios pormenorizado por servicios y fuentes de energía y conocer cuál es el futuro que pretenden las estrategias político-energéticas de nuestro país para el año 2020 en los edificios.
2. Conocer cuáles son las imposiciones que desde la Unión Europea, como estado miembro, y debiera considerarse en nuestra metodología de cálculo de la eficiencia energética de los edificios. Además, y dado el gran contenido documental que se ha tenido que leer, establecer un resumen de las normas que dan pie a estas obligaciones adaptándolas a una nomenclatura común de fácil entendimiento y adaptadas a más normas EN y UNE EN relacionadas y finalmente una propuesta de un ejemplo de aplicación a incorporar.
3. Análisis profundo de la legislación española sobre la valoración de la eficiencia energética, conocimiento de los programas de simulación que se utilizan como herramientas de comprobación y exposición de los valores por defecto que se asumen.

4. Comprobación de que los valores de consumo ofrecidos por los programas de simulación energética y procedimientos de las normas CEN se acercan al consumo real de varios edificios, así como acreditar si los valores tabulados que propone las normas CEN son directamente aplicables a nuestro país.

El trabajo se estructura en seis partes fundamentalmente (aparte de los anexos correspondientes):

1. Consumo energético de los edificios. Presente y futuro: Capítulo 2 y anexo I.
2. Análisis de las normas CEN y adaptación de las mismas: Capítulo 3, 4, 5, 6 y 7.
3. Análisis de la legislación española y sus herramientas de simulación computacional. Capítulo 8 y anexo II.
4. Aplicación del método sobre un caso teórico. Anexo VII.
5. Análisis sobre edificios reales. Estudio mediante simulación computacional y medidas reales: Capítulo 9 y 10.
6. Conclusiones: Capítulo 11.

Sería deseable que el presente trabajo sirviera para aportar datos al Plan de Acción de Ahorro y Eficiencia Energética (PAEE) y Plan de acción de Energías Renovables (PER) de la Estrategia E4 para incorporar nuevas medidas como las ya establecidas en su última revisión referente a “Revisión de las exigencias energéticas en la normativa edificatoria”.

Para intentar agilizar ciertas comparaciones se han desarrollado una serie de herramientas basadas en hojas de cálculo (en algunos casos se han programado rutinas en Visual Basic) para las opciones simplificadas legisladas que podrían servir para futuras comprobaciones de edificios.

## 2. Consumo de energía en la edificación

Se describe en este capítulo los consumos de energía en la edificación pormenorizados en los servicios de calefacción, refrigeración, agua caliente sanitaria, iluminación y equipamiento obteniendo así el porcentaje que tiene cada servicio (será coherente que el país primero aplique medidas de ahorro energético en los servicios que mayor contribución tengan sobre el consumo total de nuestro país).

En el anexo I, *Consumo de energía en la edificación y equipamiento*, se detallan estos consumos en función del tipo de edificio y de las variables independientes propuestas por las directivas europeas, consiguiendo los ratios energéticos utilizados para mostrar la evolución del consumo energético de cada país estado miembro. Así mismo se describen las medidas y políticas energéticas adoptadas por nuestro país para conseguir los objetivos globales de ahorro de energía marcados por la Unión Europea, como también la tendencia previsible hasta el año 2020.

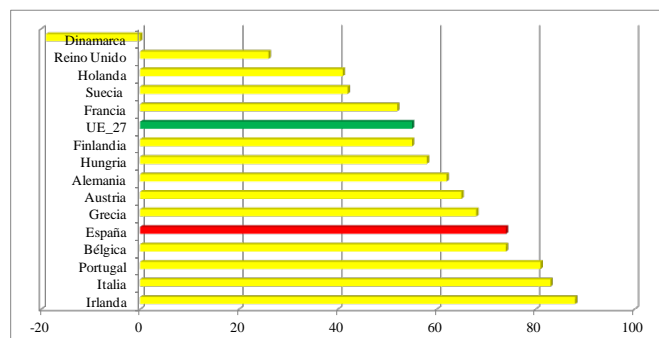
El consumo energético ha experimentado un crecimiento en los últimos 30 años a lo largo de los cuales han tenido lugar cuatro crisis económicas (1973, 1979, 1993 y 2008) a nivel mundial, con impacto negativo en el consumo energético de la mayoría de los países desarrollados.

Causa de esta crisis (principios de los 70) se han desarrollado políticas energéticas orientadas a la reducción de la dependencia energética y la mejora de la eficiencia.

En España, esta reacción se manifestó con casi una década de retraso (hacia finales de los 70), lo que repercutió en la reconversión industrial de mediados de los 80. La posterior expansión económica de nuestro país, desde su incorporación a la UE (1982), trajo como consecuencia un incremento en el poder adquisitivo, que ocasionó un mayor equipamiento automovilístico y doméstico, así como un fuerte desarrollo del sector inmobiliario, factores que han sido determinantes en el aumento del consumo energético. Al inicio de la década de los 90, una nueva crisis tuvo eco en una leve atenuación de la demanda energética.

La evolución posterior mantuvo una tendencia ascendente hasta el año 2004, iniciándose, a partir de entonces, una nueva etapa en el consumo energético, propiciada por la puesta en marcha de actuaciones al amparo de las estrategias de eficiencia energética e incorporación de las energías renovables.

Hoy el consumo de energía final de nuestro país (2010) proviene mayoritariamente de productos petrolíferos importados que junto a una reducida aportación de recursos propios, ha contribuido a una elevada dependencia energética, próxima al 75%, superior a la media europea (UE<sup>12</sup>-27 55%).

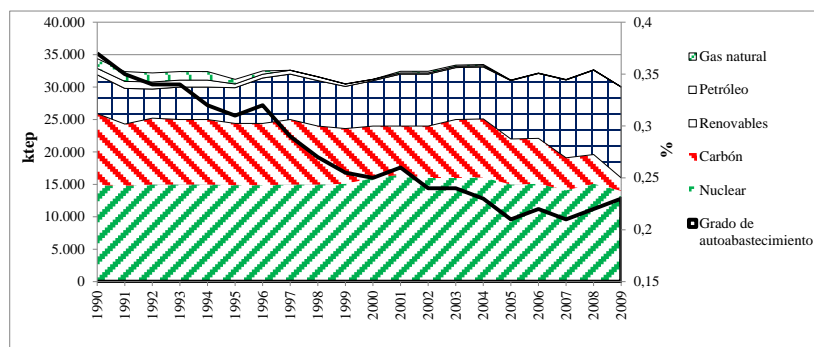


**Imagen 2.1:** Dependencia energética. Fuente: EUROSTAT (2009)/MITyC (2010)

<sup>12</sup>La Unión Europea compuesta de 27 países soberanos independientes conocidos como los Estados Miembros: Alemania, Austria, Bélgica, Bulgaria, Chipre, la República Checa, Dinamarca, Estonia, Finlandia, Francia, Grecia, Hungría, Irlanda, Italia, Letonia, Lituania, Luxemburgo, Malta, Países Bajos, Polonia, Portugal, Rumania, Eslovaquia, Eslovenia, España, Suecia y el Reino Unido.

Esta situación actual estimula un cambio en nuestro modelo energético a partir del año 2005 comienzo del marco de las políticas actuales en materia de energías renovables y de eficiencia energética:

- Estrategia de Ahorro y Eficiencia Energética en España 2004-2012 (E4) [2.1].
- Planes de Acción 2005-2007 (mecanismo de cooperación diseñado entre la Administración General del Estado y las Comunidades Autónomas) [2.2].
- Plan de Energías Renovables 2005-2010 [2.3].
- Aprobación del Código Técnico de la Edificación (RD 314/2006 [2.34]) y modificación del Documento Básico de Ahorro de Energía (FOM/1635/2013 [2.35])
- Plan Acción 2008-2012 Estrategia de Ahorro y Eficiencia Energética en España [2.4].
- Plan de Activación del Ahorro y la Eficiencia Energética<sup>13</sup> 2008-2011. Iniciativa del Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, a través de la Secretaría de Estado de Energía [2.5].
- Plan Estatal de Vivienda y Rehabilitación 2009-2012 [2.6].
- Plan de Intensificación del Ahorro y la Eficiencia Energética<sup>2</sup> [2.7].
- Ley 2/2011, de 4 de marzo, de Economía Sostenible [2.8].
- Plan de Acción de Ahorro y Eficiencia Energética 2011-2020<sup>14</sup> [2.9].
- Plan de Energías Renovables 2011-2020 [2.10].
- Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RD 1027/2007 [2.13]) y su modificación RD 238/2013[2.33]
- Real Decreto 233/2013, de 5 de abril, por el que se regula el Plan Estatal de fomento del alquiler de viviendas, la rehabilitación edificatoria, y la regeneración y renovación urbanas, 2013-2016 [2.29].
- Ley 8/2013, de 26 de junio, de rehabilitación, regeneración y renovación urbanas [2.30].



**Imagen 2.2:** Consumo de energía primaria por fuentes propias y grado de autoabastecimiento. Fuente: MIEyT/IDAE. 1tep = 11,628 MWh = 1\*10<sup>7</sup> kcal

<sup>13</sup>Consecuencia del mismo se publica la Resolución de 28 de septiembre de 2010, por la que se publica la Resolución del Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, por la que se establecen las líneas de apoyo económico e incentivación a la participación de las empresas de servicios energéticos en el Plan de activación en los edificios de la Administración General.

<sup>14</sup>La nueva Directiva 2012/27/UE que surge en un marco en que la UE no va a aumentar un 20% la eficiencia energética en 2020, obliga a un cambio en la metodología de contabilidad de ahorros por lo que es necesario una revisión completa de los planes vigentes (la nueva Directiva no permite contabilizar los ahorros obtenidos antes del 2014, el objetivo de ahorro se establece a partir de los datos de 2010, 2011 y 2012, periodo de poca actividad económica, mientras que la consecución de objetivos deberá realizarse entre 2014 y 2020, periodo de probable recuperación económica, no permite contabilizar los ahorros después de 2020 lo que supone un problema a la hora de aplicar medidas en sectores como el de la edificación, dónde el retorno de las mismas es largo.

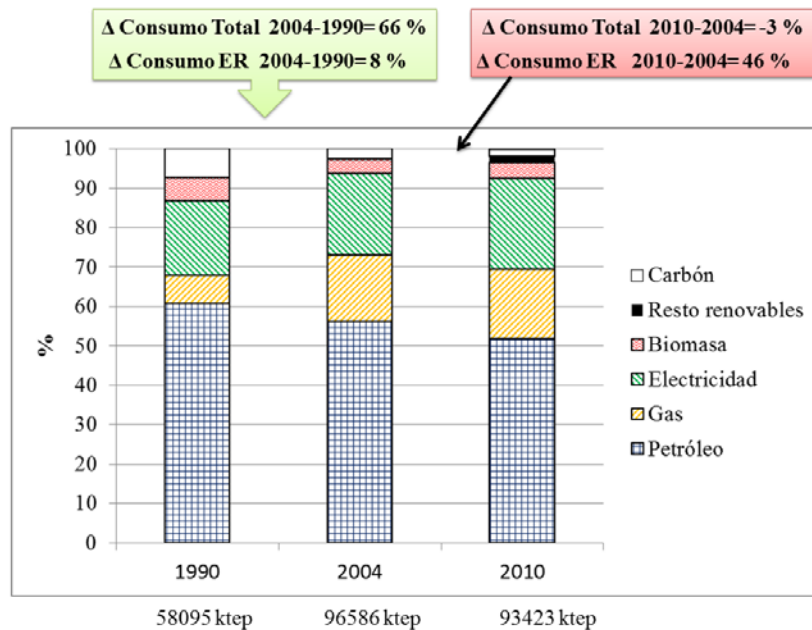
El grado de autoabastecimiento proviene fundamentalmente de una mayor contribución en el consumo energético de los recursos renovables a lo largo de los últimos años. Ello obedece a una apuesta decidida a favor de una mayor incorporación de estos recursos a partir del 2005 a raíz de la Estrategia de Ahorro y Eficiencia Energética en España 2004-2012 (E4) [2.1] aunque actualmente el Real Decreto Ley 1/2012 [2.11] suprime todas las primas para futuras instalaciones de régimen especial<sup>15</sup>.

En la tabla 2.1 se muestra el consumo energético total de España por fuentes energéticas y el porcentaje de consumo por sector de actividad.

**Tabla 2.1:** Consumo de energía final en España por fuentes energéticas excluidos usos no energéticos.

1990			2004			2010		
FUENTE	ktep	%	FUENTE	ktep	%	FUENTE	ktep	%
Petróleo	35.264	60,7	Petróleo	54.121	56,2	Petróleo	48.393	51,8
Gas	4.183	7,2	Gas	16.275	16,9	Gas	16.536	17,7
Electricidad	10.980	18,9	Electricidad	19.838	20,6	Electricidad	21.394	22,9
Biomasa	3.370	5,8	Biomasa	3.371	3,5	Biomasa	3.737	4
Resto renovables	0	0,04	Resto renovables	0	0,3	Biocarburantes	1.401	1,5
						Solar térmica	187	0,2
						Geotérmica	19	0,02
Carbón	4.299	7,4	Carbón	2408	2,5	Carbón	1.682	1,8
<b>TOTAL</b>	<b>58.095</b>	<b>100</b>	<b>TOTAL</b>	<b>96.011</b>	<b>100</b>	<b>TOTAL</b>	<b>93.348</b>	<b>100</b>

El cuadro muestra la gran dependencia de fuentes energéticas derivadas el petróleo en el año 1990 que desciende durante los siguientes años a favor de un mayor consumo de gas natural. También se observa la incorporación de los planes de acción de eficiencia energética y energías renovables mostrándose un descenso del consumo de energía y una tendencia ascendente del consumo de energías renovables en el periodo 2010-2004.



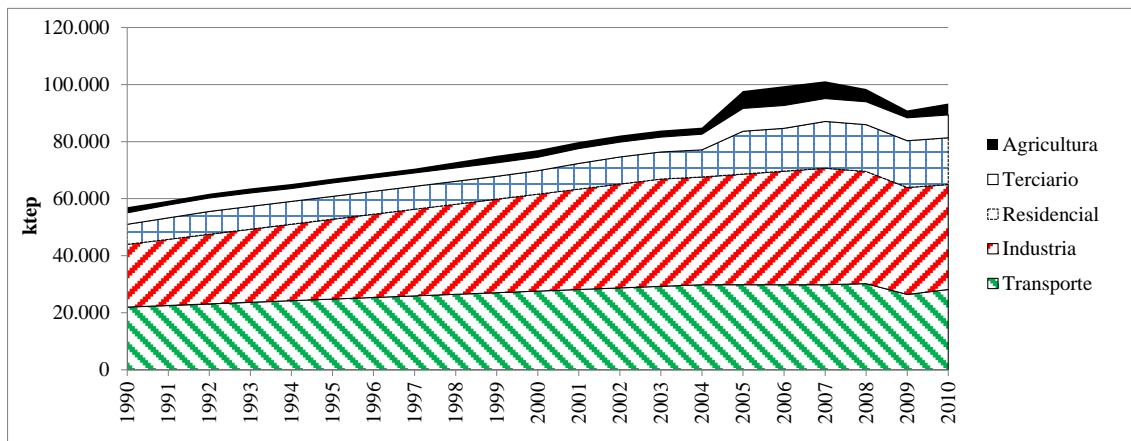
**Imagen 2.3:** Evolución de la estructura de consumo de energía final por fuentes energéticas.

<sup>15</sup>La actividad de generación en régimen especial recoge la generación de energía eléctrica en instalaciones de potencia no superior a 50 MW que utilicen como energía primaria energías renovables o residuos, y aquellas otras como la cogeneración que implican una tecnología con un nivel de eficiencia y ahorro energético considerable [2.20]. La normativa que regula el marco general de esta actividad es el Real

Se muestran a continuación en la imagen 2.4 el consumo energético de energía final por sectores de actividad desde al año 1990, donde se observa, el efecto de la crisis financiera internacional, iniciada hacia el segundo semestre del año 2008 que se evidencia a través de la desaceleración experimentada en el sector de la construcción que, tradicionalmente, ha constituido uno de los motores de la economía nacional. Esto ha provocado un descenso aun más acusado de la demanda energética no promovido por medidas de eficiencia energética.

**Tabla 2.2:** Consumo de energía final en España por sectores.

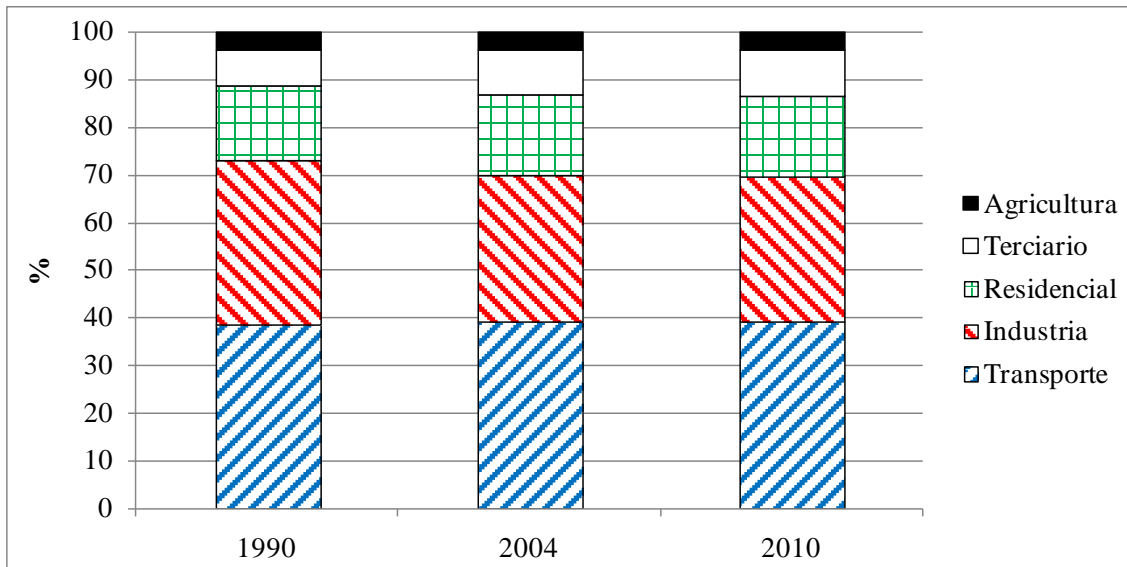
SECTOR	1990	2004	2007	2008	2009	2010
Industria	22.500	29.855	29.878	30.241	26.468	28.209
Transporte	22.500	40.804	40.804	39.313	37.464	36.744
Residencial	7.095	13.700	15.000	15.000	15.754	16.377
Terciario	4.000	7.352	8.000	8.000	9.150	8.015
Agricultura	2.000	4.300	7.448	5.886	3.155	4.003
<b>Total</b>	<b>58.095</b>	<b>96.011</b>	<b>101.130</b>	<b>98.440</b>	<b>90.906</b>	<b>93.348</b>



**Imagen 2.4:** Evolución del consumo final de energía por sectores. Fuente: MITyC/IDAE

Analizando estos consumos por sectores se observa que el sector transporte es el mayor consumidor<sup>16</sup>, con el 40 % del consumo final total basado fundamentalmente en productos petrolíferos, lo que determina la elevada dependencia energética nacional expuesta anteriormente. El siguiente consumidor es la industria, con un 31 % del consumo, a la que siguen el sector edificios, el residencial (19 %) y terciario (10 %).

<sup>16</sup>En Europa el sector de los edificios (residenciales y comerciales) es el mayor consumidor de energía y el mayor emisor de CO<sub>2</sub> de la UE, responsable de un 40% aproximadamente del consumo de energía final total y de las emisiones de CO<sub>2</sub>.



**Imagen 2.5:** Evolución de la estructura sectorial del consumo de energía final. Fuente: MITyC/IDAE

Un análisis detallado del consumo permite destacar la industria como el sector que mayor sensibilidad muestra al efecto de la crisis del 2008. En el año 2009, en un contexto generalizado de moderación del consumo energético, este sector es el que mayor contracción ha experimentado, disminuyendo su consumo en 2009 un 12,5%, muy por encima de lo observado en el resto de los sectores.

**Tabla 2.3:** Consumo por fuentes y sectores en el primer año después de la última crisis mundial

Sector	% de Consumo por Fuentes y Sectores 2009					TOTAL (ktep)	Δ 2009/08(%)					
	Carbón	Petróleo	Gases	Renovables	Eléctrica		TOTAL	Carbón	Petróleo	Gases	Renovables	Eléctrica
Industria	5,5%	15,2%	40,2%	6,0%	33,0%	26.468	-12,5%	-30,5%	-11,5%	-14,5%	-4,5%	-9,3%
Transporte	-	95,9%	-	2,8%	1,3%	37.464	-4,7%	-	-6,0%	-	73,1%	-0,8%
Residencial	0,1%	29,5%	22,1%	14,2%	34,0%	15.754	-4,2%	2,7%	-10,9%	-6,1%	2,0%	-2,9%
Terciario	0,04%	21,7%	7,3%	1,4%	69,6%	9.150	-2,9%	17,1%	-7,8%	-6,2%	1,9%	-2,9%
Agricultura	-	76,1%	8,5%	1,4%	14,0%	3.155	-8,2%	-	-11,3%	-6,1%	19,3%	-3,0%
<b>TOTAL (ktep)</b>	<b>1.427</b>	<b>49.032</b>	<b>14.639</b>	<b>4.828</b>	<b>20.980</b>	<b>90.906</b>	<b>-7,7%</b>	<b>-31,4%</b>	<b>-7,3%</b>	<b>-13,2%</b>	<b>10,4%</b>	<b>-5,7%</b>

En cuanto a las fuentes de energía renovable en el sector de edificación la más importante es la energía solar térmica que consiste en el aprovechamiento de la energía del sol para la obtención de energía térmica a través del calentamiento de un fluido fundamentalmente para:

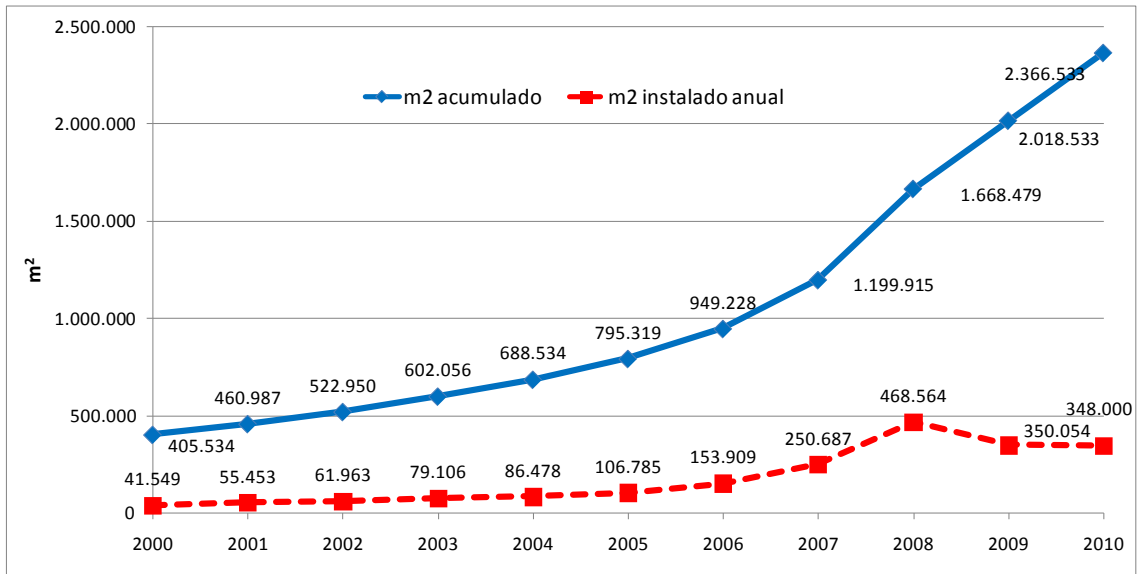
- Aplicaciones para agua caliente sanitaria<sup>17</sup> (ACS), calefacción y piscinas.
- Sistemas de climatización solar (máquinas de absorción).

Las aplicaciones de ACS<sup>18</sup> constituyen el uso más extendido de la energía solar térmica<sup>19</sup>, y desde la entrada en vigor del Código Técnico de la Edificación (2006) su instalación es obligatoria en los edificios de nueva construcción o rehabilitaciones, por lo que actualmente son instalaciones cada vez más habituales produciendo que el mercado solar térmico experimente un crecimiento constante en España desde el año 2000.

<sup>17</sup>En España la aplicación más extendida es la producción de Agua Caliente Sanitaria con un 98 % del total.

<sup>18</sup> Apoyada por el programa SOLCASA. Financiación de IDAE a instalaciones solares térmicas en edificios a empresas habilitadas.

<sup>19</sup>El captador más utilizado es el captador plano con recubrimiento con un porcentaje del 90 % sobre el total.



**Imagen 2.6:** Evolución de la energía solar térmica en España. Fuente IDAE

En el gráfico anterior se observa que en 2008<sup>20</sup> se instalaron 468.564 m<sup>2</sup> (328 MW<sub>t</sub> es decir 0,7 kW/m<sup>2</sup>). Esta superficie instalada se enmarca en un escenario de intensa actividad del sector de la edificación ya que corresponde a las obras iniciadas en 2005 y 2006.

En 2009 se instalaron 350.054 m<sup>2</sup> (245 MW<sub>t</sub> es decir 0,7 kW/m<sup>2</sup>) y en 2010 348.000 m<sup>2</sup> (244 MW<sub>t</sub> es decir 0,7 kW/m<sup>2</sup>) alcanzándose una capacidad total acumulada de de 2,367 millones de m<sup>2</sup> (1.657 MW<sub>t</sub> es decir 0,7 kW/m<sup>2</sup>).

Otra de las energías renovables que está cobrando un papel importante como fuente energética para la edificación es la biomasa. La inclusión de las instalaciones de biomasa en el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE [2.13]) y la aparición de la biomasa como combustible que posibilita alcanzar la calificación energética A en edificios<sup>21</sup> [2.14] ha beneficiado y beneficiará el consumo de este tipo de fuente de energía<sup>22</sup>.

**Tabla 2.4:** Distribución del consumo de biomasa en el consumo de los edificios.

Energía final (ktep)	2005	2006	2007	2008	2009	2010
<b>Sólida</b>	3.441	3.445	3.460	3.482	3.504	3550
<b>Biogás</b>	36	35	35	34	33	33
<b>Biolíquidos</b>	0	0	0	0	0	0
<b>Biomasa para calefacción y refrigeración</b>	3.477	3.480	3.495	3.516	3.537	3.583

Por último las últimas renovables que hay que considerar según la Directiva 2009/28/CE [2.15] son la energía aerotérmica, hidrotérmica<sup>23</sup> y geotérmica<sup>24</sup> capturadas por bombas de calor, aunque debido a que necesitan electricidad u otra energía auxiliar para funcionar, sólo se tendrán en cuenta las bombas de calor cuya producción supere de forma significativa la energía primaria necesaria para impulsarlas.

<sup>20</sup>Durante los años 2008 y 2009 España ha pasado a ser el segundo mercado europeo más importante de energía solar térmica, gracias al crecimiento experimentado en estos dos años.

<sup>21</sup> Se considera que son neutras (0) sus emisiones de CO<sub>2</sub>.

<sup>22</sup> Debido al creciente interés de la biomasa térmica en viviendas (programa BiomCASA [2.12]), se han promovido un gran número de plantas de producción de pellets y astillas.

<sup>23</sup> La Directiva define aerotermia como la energía almacenada en forma de calor en el aire ambiente y la "hidrotermia" como la energía almacenada en forma de calor en las aguas superficiales.

<sup>24</sup> La geotermia somera o de muy baja temperatura (no se habla aquí de geotermia para usos térmicos y geotermia de baja temperatura) para climatización es ya una realidad en España. Existen estimaciones en las que la cifra supera los 100 MW<sub>t</sub> (térmicos).



En concreto la directiva [2.15] dice que solo se tendrán en cuenta las bombas de calor para las que el factor de rendimiento medio estacional (SPF) sea mayor de:

$$SPF > 1,15 \cdot \frac{1}{\eta} \quad 2-1$$

donde

- $\eta$  Cociente entre la producción total bruta de electricidad y el consumo primario de energía para la producción de electricidad.

Si se tomarán los valores utilizados en los programas de certificación energética<sup>25</sup> este valor valdría [2.14]  $\eta = 1/2,6^{26}$  (38,5 %) y las bombas de calor a las que se podría considerar su generación de energía a través de una fuente renovable serían aquellas cuyo SPF sea mayor de 3.

$$SPF > 1,15 \cdot \frac{1}{\eta} = 1,15 \cdot \frac{1}{1/2,6} = 3 \quad 2-2$$

Si la eficiencia del sistema de energía ( $\eta$ ) se fija<sup>27</sup> en el 45,5 % el SPF mínimo de la bomba de calor accionadas eléctricamente que debe considerarse como energía renovable según la Directiva es 2,5.

La cantidad de energía aerotérmica, geotérmica o hidrotérmica capturada por bombas de calor que debe considerarse energía procedente de fuentes renovables a los efectos de la presente Directiva [2.15] se calculará de acuerdo con la fórmula siguiente:

$$E_{RNB} = Q_{BdC} \cdot \left( 1 - \frac{1}{SPF} \right) \quad 2-3$$

donde

- $Q_{BdC}$  Calor útil total estimado proporcionado por bombas de calor. Producto de las horas equivalentes de funcionamiento a plena carga ( $h_{BdC-ON}$ ) y potencia de las bombas de calor instaladas, teniendo en cuenta la duración de los diferentes tipos bombas de calor
- SPF Factor de rendimiento medio estacional. Factor de eficiencia energética estacional para frío (SEER) y coeficiente de rendimiento estacional para calor (SCOP) [2.22]. Debe calcularse según las normas UNE EN 14825:2012 [2.31] y UNE EN 12309 [2.32]. En España se ha publicado además un Documento Reconocido [2.40] por el RITE que establece una metodología para el cálculo de este valor estacional (consiste en multiplicar el valor en condiciones nominales por un factor menor que uno<sup>28</sup>).

No está, por falta de datos, considerada aun en los cálculos la energía renovable que se obtiene mediante una bomba de calor en los Planes Energéticos publicados.

<sup>25</sup>Estos valores están actualmente en revisión por la Comisión Permanente de Certificación Energética.

<sup>26</sup> Actualmente en revisión. Valor propuesto 2,5. En este caso saldría  $SPF = 2,8$ .

<sup>27</sup>El valor de  $\eta$  en 2010 era del 45,5 % (44,0 % en 2007, 44,7 % en 2008 y 45,1 % en 2009), lo que arroja un SPF mínimo de 2,5 en dicho año. Se trata de una estimación conservadora, pues se espera que la eficiencia del sistema de energía aumente hacia 2020. No obstante, como la base para la estimación de la eficiencia del sistema de energía ( $\eta$ ) varía como consecuencia de las actualizaciones de las estadísticas subyacentes, es más previsible dar a  $\eta$  un valor fijo para evitar confusiones en cuanto a los requisitos del SPF mínimo (crear seguridad jurídica).

<sup>28</sup>Muy conservador.

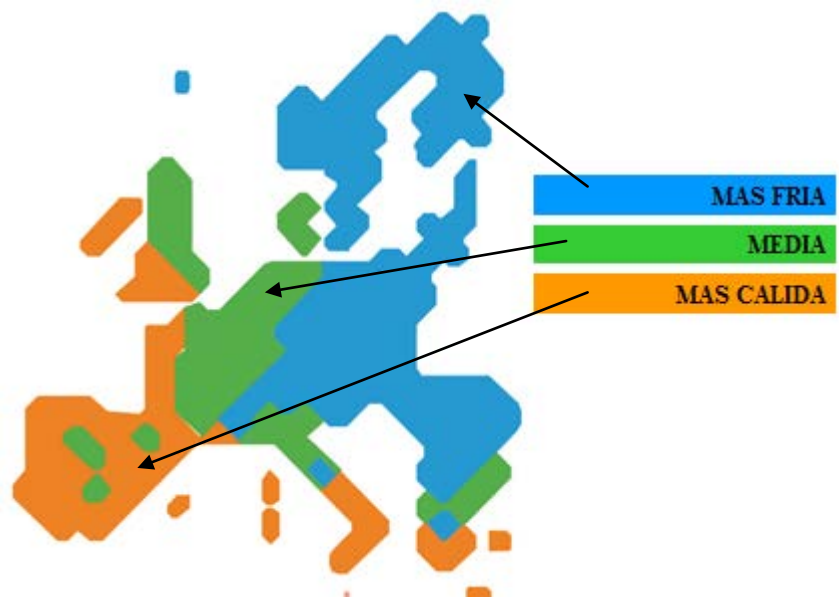
La decisión de la comisión de 1 de marzo de 2013 por la que se establecen las directrices para el cálculo por los Estados Miembros de la energía renovable procedente de las bombas de calor de diferentes tecnologías, conforme a lo dispuesto en el artículo 5 de la Directiva 2009/28/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, propone unos valores por defecto para ( $h_{BdC-ON}$ ) y SPF en función del tipo de bomba de calor accionada eléctricamente.

**Tabla 2.5:** Valores por defecto para ( $h_{BdC-ON}$ ) y SPF.

		Condiciones climáticas					
		Clima más cálido		Clima medio		Clima más frío	
Fuente energética de la bomba de calor	Fuente energética y medio de distribución	$h_{BdC-ON}$	SPF ( $SCOP_{net}$ )	$h_{BdC-ON}$	SPF ( $SCOP_{net}$ )	$h_{BdC-ON}$	SPF ( $SCOP_{net}$ )
Energía aerotérmica	Aire-Aire	1.200	2,7	1.770	2,6	1.970	2,5
	Aire-Agua	1.170		1.640		1.710	
	Aire-Aire (reversible)	120		710		1.970	
	Aire-Agua (reversible)			760		660	
	Aire de salida-Aire	600				600	
	Aire de salida-Agua						
Energía geotérmica	Tierra-Aire	1.340	3,2		2.070	3,2	2.470
	Tierra-Agua		3,5	3,5		3,5	
Calor hidrotérmico	Agua-Aire		3,2	3,2		3,2	
	Agua-Agua		3,5	3,5		3,5	

Para la definición de las condiciones climáticas medias, más frías y más cálidas se utiliza el método propuesto en los Reglamentos relativo al etiquetado energético y diseño ecológico de las calderas [2.36, 2.37, 2.38 y 2.39], en el que por condiciones climáticas medias, condiciones climáticas más frías y condiciones climáticas más cálidas se entiende la temperatura característica de las ciudades de Estrasburgo, Helsinki y Atenas, respectivamente.

En la imagen 2.7 pueden observarse las zonas representativas de estas condiciones climáticas.



**Imagen 2.7:** Zonas climáticas en Europa

### 3. Comité Europeo de Normalización (CEN)

La Comisión Europea ha mandado al CEN<sup>29</sup> (Mandato 343<sup>30</sup>) crear un conjunto de normas para contribuir a la implementación nacional por parte de los Estados miembros de la EPBD<sup>31</sup>. 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
- CEN/TC 156 Ventilación y aire acondicionado 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.

Todo está supervisado por CEN / TC 371, Comité del Proyecto de Eficiencia Energética de los Edificios (anteriormente conocido con el nombre de CEN / BT / TF 173), para asegurar que las normas preparadas en los diferentes Comités sean consistentes.

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 IX *Listado de Normas del CEN* se puede consultar el nombre completo de cada norma y la sección a la que corresponden).

**Tabla 3.1:** División de las normas CEN por secciones

Sección 1	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 generales <sup>32</sup>	
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
	4D	Condiciones interiores y exteriores
	4E	Definiciones y terminología
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	

<sup>29</sup> La actividad de normalización se desarrolla en casi todos los países del mundo a través de Organismos Nacionales de Normalización, que elaboran las normas nacionales. Estos Organismos se agrupan generalmente dentro de un ámbito geográfico o económico homogéneo, creando Organismos Regionales de Normalización encargados de elaborar normas que sirvan de aplicación a todos sus países miembros. En el caso de Europa estos son, CEN, CENELEC y ETSI, en los que España está representada a través de AENOR. CEN es el Comité Europeo de Normalización y está encargado de desarrollar la normalización en todos los sectores excepto el electrotécnico y en el de las telecomunicaciones; sus miembros son los organismos nacionales de los países de la Unión Europea y la Asociación Europea de Libre Comercio. CENELEC es el Comité Europeo de Normalización Electrotécnica y ETSI es el Instituto Europeo de Normas de Telecomunicaciones; este último a diferencia de los dos anteriores cuenta entre sus miembros a fabricantes, operadores de red, proveedores de servicios así como compañías de investigación, la administración y organismos nacionales de normalización. Manuel López Cachero, Presidente de AENOR. Entrevista publicada en DYNA Volumen LXXXI, Abril 2006.

<sup>30</sup> Existió un segundo mandato de la Comisión Europea (M 480) que se publicó en abril de 2011, para los estándares CEN, para apoyar la EPBD refundido. Se estima que la labor encomendada dará lugar a la segunda generación de estándares CEN EPBD (revisión de la primera serie de normas, varias normas nuevas, y posiblemente la fusión o separación de algunas de las normas vigentes) para el año 2016.

<sup>31</sup> Energy Performance of Buildings Directive EPBD

<sup>32</sup> UNEEN 15265: pruebas para validación de software. No cubre sistemas. El método debe ser decidido a nivel nacional

### 3.1. Relación entre las normas CEN y la Directiva

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 energética<sup>33</sup> 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 [3.1]:

- 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)

En la tabla se ilustra como 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.

**Tabla 3.2:** Relación articulado EPBD y Normas<sup>34</sup>

PARTES		Artículo <sup>35</sup>	Normas CEN	Normas CEN apoyo
Metodología de cálculo		Artículos 1 y 3	Energía total suministrada procedimientos para las calificaciones energéticas. Calculadas y medidas EN 15603 (SECCION 1)	SECCIONES 2, 3 y 4
Requisitos mínimos para la eficiencia energética	Edificios nuevos y existentes	Artículos 4,5(6)	Formas de expresión de la eficiencia energética EN 15217 (SECCION 1)	
	Renovaciones importantes	Artículos 4,6(7)		
Certificado de eficiencia energética y recomendaciones		Artículo 7 (11)	EN 15217 (SECCION 1)	
Sistemas de inspección y evaluación		Artículos 8 (14),9 (15)	Sistemas de calefacción con caldeas EN 15378 (SECCION 5)	
			Aire acondicionado EN 15378 (SECCION 5)	
			Sistemas de ventilación ( no mencionados explícitamente en la Directiva)EN 15239 (SECCION 5)	

<sup>33</sup> Ser eficiente significa [3.2] hacer más con menos como dice el Libro Verde de la UE, o en términos energéticos, prestar un mejor servicio con menor consumo.

<sup>34</sup> Calificación energética medida: Evaluación energética basada en cantidades medidas de energía suministrada y exportada. La evaluación medida es la suma ponderada de todos los conductores de energía utilizados por el edificio, medidos y anotados (registrados). Es una medida de las prestaciones en uso del edificio. Esto es particularmente relevante para la certificación de la eficiencia energética real no estimada. También conocida como evaluación de funcionamiento. En la evaluación energética medida se incluyen los consumos energéticos para la iluminación y para otros servicios. Los datos del clima deben ser registrados del lugar.

<sup>35</sup> 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.

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 EN15239), 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 [3.10].
- Calificación medida, basada en energía medida y consumida realmente por el edificio (calificación funcional).

La evaluación energética calculada 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 clima adaptados al edificio real y al tipo de edificio.

**Tabla 3.3:** Tipos de certificación según UNE EN 15603

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

## 3.2. Cálculo de la eficiencia energética

El cálculo de la eficiencia energética se basa en las características del edificio y de su sistema técnico<sup>36</sup> 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 de las condiciones interiores, las ganancias térmicas internas (posteriormente cargas térmicas para combatir por los equipos [3.4]), las propiedades del edificio y las condiciones climáticas externas (para esto el CEN propone las normas que pertenecen a las secciones 3 y 4, se verá en el capítulo *Análisis de la legislación española* como se hace en nuestro país). En este primer paso, sólo se considera las propiedades del edificio y no las de los sistemas de calefacción /refrigeración y facilita como resultado la energía a suministrar por los emisores de calor o la energía a extraer del recinto acondicionado. Actualmente en nuestra legislación energética de los edificios esto lo hace el programa reconocido LIDER [3.6] (vía general) y el programa CERMA [3.7] (vía simplificada).

2. Cálculo de la energía suministrada al edificio para calefacción y refrigeración, ventilación, agua caliente sanitaria teniendo en consideración las características de todos los elementos anteriores e incluyendo el control<sup>37</sup> y la automatización del edificio usando las normas listadas en la sección 2.

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 edificios lo efectúan los programas CALENER [3.8] (la vía general) y el programa CERMA, Ce2, Ce3, CE<sup>3</sup>x y CES<sup>38</sup> [3.7] (vía simplificada).

3. Cálculo de los índices de eficiencia energéticos globales (energía primaria, emisiones de CO<sub>2</sub>) 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. Actualmente esto se encuentra legislado en el RD 235/2013 [3.10] apoyado en los documentos Escala de calificación energética para edificios de nueva construcción [3.9] y Escala de calificación energética para edificios existentes [3.11].

Las emisiones de CO<sub>2</sub> 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.

Se puede observar 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.

---

<sup>36</sup>Equipamiento técnico [3.5] para calefacción, refrigeración, ventilación, agua caliente sanitaria, iluminación y producción de electricidad.

<sup>37</sup>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.

<sup>38</sup>Esta herramienta se he eliminado del registro de Documentos Reconocidos.

## 4. Normas CEN

Las normas CEN, como ya se apuntó, establecen la estructura para el cálculo del uso de la energía en los sistemas técnicos de los edificios. Normalizan los datos para determinar 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 tesis, como se citó, es analizar en profundidad el servicio de calefacción y ACS, en concreto los sistemas técnicos, partiendo como dato de entrada de las necesidades energéticas<sup>39</sup> 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, las partes que tratan la emisión y distribución y de las partes que tratan la generación, la que aborda los calentadores y calderas como generadores térmicos que abastecen las dos demandas de calefacción y ACS.

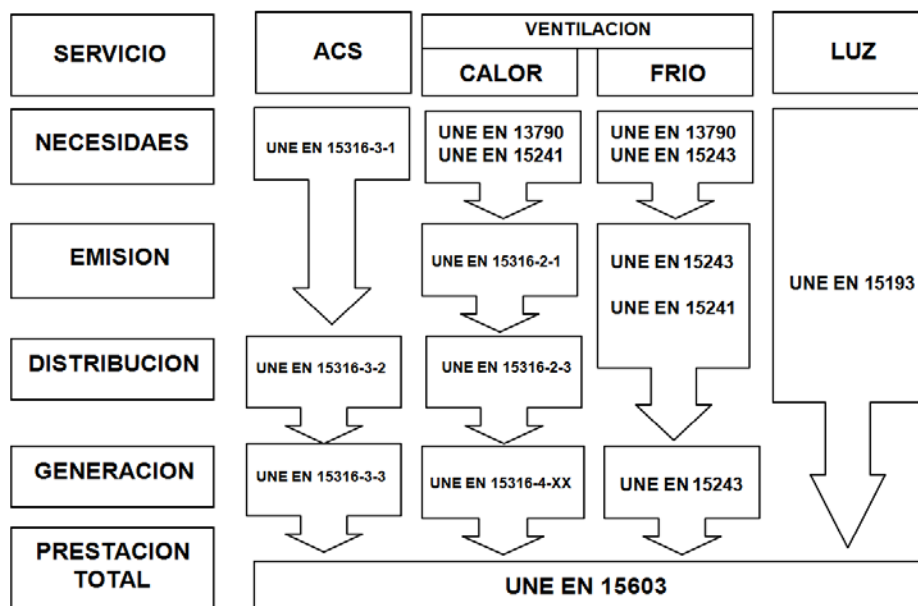


Imagen 4.1: Jerarquía normas CEN. Fuente [www.iee-cense.eu](http://www.iee-cense.eu)

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 hacen 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 eléctrica de los subsistemas del sistema de calefacción y ACS.

<sup>39</sup>Sería objeto de otra tesis analizar los métodos de cálculo que establecen las normas CEN para estimar estos valores

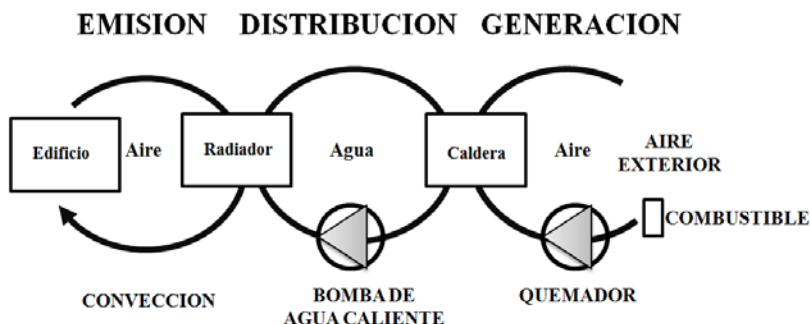


## 4.1. Generalidades

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 ( $\eta_{ems}$ ), incluido el control
- Eficiencia energética del subsistema de distribución ( $\eta_{dst}$ ), incluido el control
- Eficiencia energética del subsistema de generación ( $\eta_{gen}$ ), incluido el control (por ejemplo, calderas, colectores solares, bombas de calor, unidades de cogeneración, sistemas de acumulación<sup>40</sup>).

Esta estructura es similar a la estructura física de los sistemas de calefacción y ACS en la realidad.



**Imagen 4.2:** Estructura física de los sistemas de calefacción y ACS

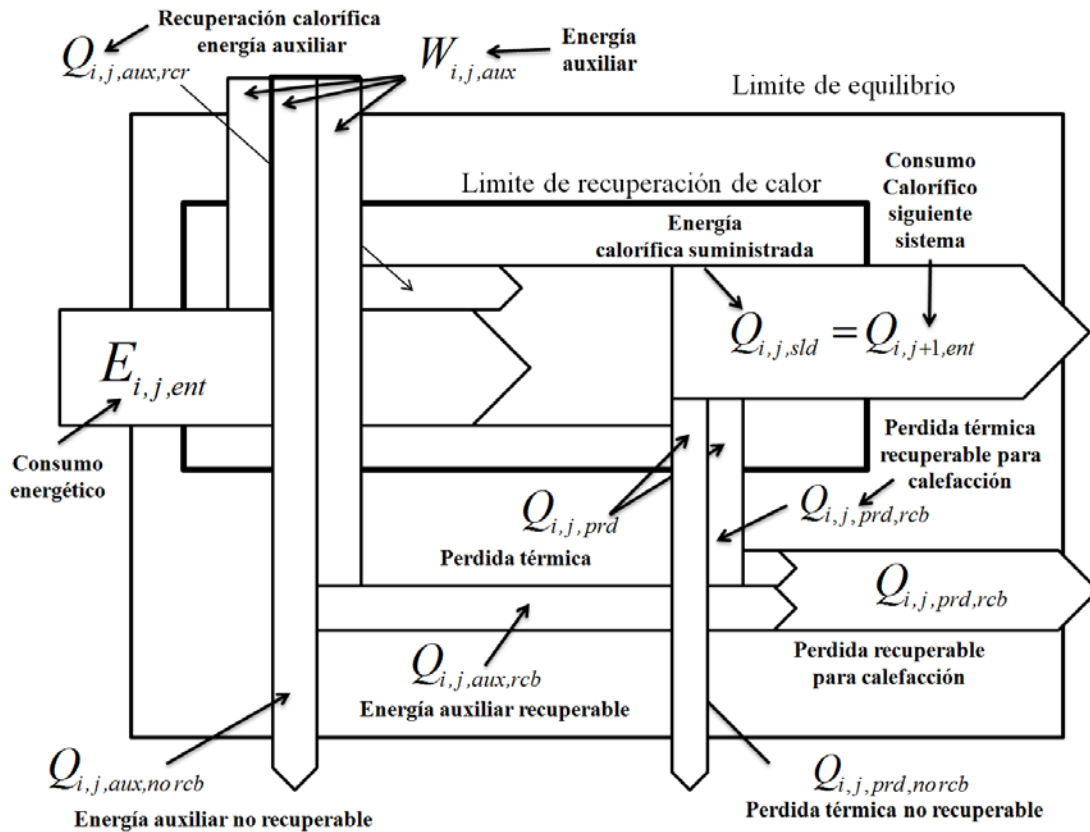
La energía utilizada por el sistema (consumo) de calefacción se calcula de forma independiente para la energía térmica y para la energía auxiliar eléctrica.

La nomenclatura utilizada en este documento para referirse al subsistema  $j$  que se está evaluando, es  $ems$  para emisión;  $dst$  para distribución y  $gen$  para generación y para referirse al sistema técnico del edificio  $i$  es,  $CLF$  para calefacción y  $ACS$  para agua caliente sanitaria.

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

- Energía auxiliar eléctrica  $W_{sistema,subsistema,aux}$  (por ejemplo,  $W_{ACS,gen,aux}$ ).
- Pérdida térmica del sistema  $Q_{sistema,subsistema,prd}$  (por ejemplo,  $Q_{CLF-ACS,gen,prd}$ ).
- Energía calorífica que suministra: térmica  $Q_{sistema,subsistema,sld}$  y eléctrica (si hubiera)  $E_{elc,subsistema,sld}$  (por ejemplo,  $Q_{CLF,gen,sld}$ ,  $E_{elc,gen,sld}$ ). En los subsistemas analizados en este trabajo estos valores tomarán siempre el valor cero  $Q_{sistema,subsistema,sld} = E_{elc,subsistema,sld} = 0$
- Consumos energéticos: portador energético (por ejemplo un combustible)  $E_{sistema,subsistema,ent}$ , térmico  $Q_{sistema,subsistema,ent}$  (por ejemplo energía térmica que entrega el agua a un radiador), y eléctrico  $E_{elc,sistema,subsistema,ent}$  (por ejemplo consumo eléctrico de un compresor). Ejemplos,  $E_{CLF-ACS,gen,ent}$ ,  $Q_{CLF,ems,ent}$ ,  $E_{CLF,elc,gen,ent}$ .

<sup>40</sup> 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.



**Imagen 4.3:** Datos del sistema i, subsistema j. Fuente UNE EN 15603

**Leyenda**

$Q_{i,j,slid}$	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

## 4.2. Periodo de tiempo de cálculo

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

- Utilizando datos anuales en el período de operación del sistema y realizando los cálculos empleando los valores medios anuales<sup>41</sup>.
- Dividiendo el año en un número de períodos de cálculo (por ejemplo, meses, semanas), realizando los cálculos de cada período utilizando valores dependientes del período y sintetizando los resultados de todos los períodos a lo largo del año.

<sup>41</sup>Los valores medios deben concordar con los intervalos de tiempo seleccionados.

En cada intervalo 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 intervalo se divide en dos (por ejemplo para el caso del servicio de calefacción):

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

El tiempo total de operación por tanto en el intervalo 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 períodos de cálculo, es decir, el período 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 [4.3] obliga a disponer de un dispositivo que permita registrar el número de horas de funcionamiento de los siguientes equipos<sup>42</sup>:

- Los generadores de calor y de frío de potencia térmica nominal mayor que 70 kW.
- Las bombas y ventiladores de 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 de la caldera puede determinarse [4.4] a partir de los grados días de la localidad en estudio.

EL consumo de calefacción ( $E_{CLF,ent}$ ) de una instalación puede determinarse a partir de la siguiente expresión:

$$E_{CLF,ent} = \frac{\phi_{CLF,ems,dñ} \cdot GD_{15/15} \cdot C_{int}}{\Delta T_{CLF,dñ} \cdot \eta_{CLF,gen}} \quad 4-1$$

donde

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

$$E_{CLF,ent} = \phi_{CLF,ems,dñ} \cdot t_{CLF,ON} = \frac{\phi_{CLF,ems,dñ} \cdot GD_{15/15} \cdot C_{int}}{\Delta T_{CLF,dñ} \cdot \eta_{CLF,gen}} \Rightarrow t_{CLF,ON} = \frac{GD_{15/15} \cdot C_{int}}{\Delta T_{CLF,ems,dñ} \cdot \eta_{CLF,gen}} \quad 4-2$$

Otra forma más exacta de tener este tiempo de funcionamiento es realizar la simulación horaria con algún programa de cálculo. Si este programa solo estimara la demanda horaria (caso del LIDER) una primera aproximación es suponer, que el generador estará funcionando en esa hora, si la demanda horaria de esa hora, es superior a la potencia mínima del generador (así se operará en los casos realizados en este trabajo).

<sup>42</sup>Los compresores frigoríficos de más de 70 kW de potencia útil nominal dispondrán de un dispositivo que permita registrar el número de arrancadas del mismo.

### 4.3. Condiciones operativas y eficiencia en equipos

Los métodos de cálculo para la estimación del consumo energético deben fijar las condiciones de partida que conciernen básicamente a la determinación de:

- Condiciones operativas (temperaturas del agua caloportadora, temperaturas del aire ambiente que rodea al generador, temperaturas de agua de red, radiación solar sobre una superficie, etc)
- Eficiencia energética para las condiciones operativas indicadas  $\eta$

Uno de los objetos de esta tesis es discutir la complejidad de la aplicación real de los diferentes métodos aportados para determinar la eficiencia energética del sistema en estudio y realizar la selección y la adaptación del método de cálculo que mejor se adapte a nuestro país y la comprobación de que las condiciones operativas propuestas son aplicables a la tipología de sistemas diseñados en España.

El método o los métodos seleccionados en esta tesis, 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[4.1].

### 4.4. Indicadores de la eficiencia energética

La eficiencia<sup>43</sup> energética  $\eta$  de un subsistema  $i$  se define mediante

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

- $f_{j,y,z}$  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 4.3.
- $Q_{i,sld}$  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).
- $W_{i,aux}$  Energía auxiliar del subsistema  $i$ .

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 [4.1],  $e_i$ . Esta expresión es el valor inverso de la eficiencia  $e_i=1/\eta_i$ .

<sup>43</sup>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.

## 4.5. Factores de conversión

Distingamos antes de mostrar los coeficientes de paso que se entiende por energía final y energía primaria en el ámbito de aplicación de los edificios.

Energía final es la energía que se tiene en el edificio 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) entre el cociente, por ejemplo, de la demanda de calefacción ( $Q_{CLF}$ ) y el rendimiento medio estacional de los sistemas:

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

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 tendrá unas emisiones de CO<sub>2</sub> 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 (metaneros) y finalmente distribuirlo a baja presión (dentro de las ciudades por debajo de 4 bares) a los puntos de consumo.

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

**Tabla 4.1:** Coeficientes de paso. Fuente: IDAE [4.5].

<b>Paso de energía final a emisiones de CO<sub>2</sub></b>	
<i>Combustibles</i>	<b>g CO<sub>2</sub>/kWh<sub>t</sub></b>
Gas natural	204
Gasóleo-C	287
GLP	244
Carbón uso doméstico	347
Biomasa	neutro
Biocarburantes	neutro
Solar térmica baja temperatura	0
<i>Electricidad</i>	<b>g CO<sub>2</sub>/kWh<sub>e</sub></b>
Electricidad convencional peninsular*	649
Electricidad convencional extra-peninsular	941
Solar Fotovoltaica	0
*Actualmente en revisión. Valor propuesto 399 g CO <sub>2</sub> /kWh <sub>e</sub> [4.6]	
<b>Paso de energía final a primaria</b>	
<i>Combustibles</i>	<b>kWh<sub>EP</sub>/ kWh<sub>EF</sub></b>
Gasóleo	1,08
Fuel-oil y GLP	1,08
Gas Natural	1,01
Carbón	1
Biomasa	0
<i>Electricidad</i>	<b>kWh<sub>EP</sub>/ kWh<sub>EF</sub></b>
Electricidad convencional peninsular**	<b>2,6</b>
Electricidad convencional extra-peninsular (Balears, Canarias, Ceuta y Melilla)	<b>3,35</b>
Gasóleo	1,08
Fuel-oil y GLP	1,08
**Actualmente en revisión. Valor propuesto 2,461 kWh <sub>EP</sub> / kWh <sub>EF</sub> [4.6]	

## 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 y pueden aplicarse unos u otros de acuerdo a la exactitud requerida. El nivel de detalle puede clasificarse según lo siguiente [4.1]<sup>44</sup>:

**Tabla 4.2:** Nivel de exactitud del cálculo

Nivel de exactitud	Descripción
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 (emisión, distribución, generación y almacenamiento).
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 período 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.

## 4.7. Subdivisiones de los subsistemas

La estructura de un sistema de calefacción suele ser compleja, por el gran número de partes que lo conforman:

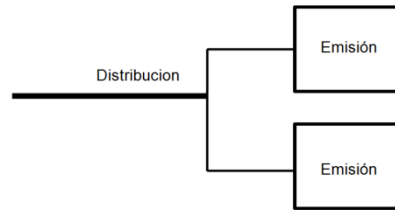
- Más de un tipo de emisor de calor, que sirve a múltiples zonas.
- Más de una carga conectada al mismo subsistema de generación (la producción de agua caliente sanitaria y la calefacción pueden suministrarse por el mismo subsistema de generación).
- Más de un subsistema de generación.
- Diferentes tipos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

En general, estos casos pueden resolverse fraccionando el cálculo de acuerdo a la estructura física del sistema de calefacción.

Se muestran a continuación los casos más comunes que pueden ocurrir en un sistema mixto que de servicio a calefacción y ACS.

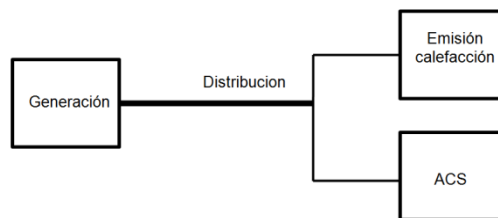
- Un subsistema de distribución común a más de un subsistema de emisión. Las necesidades energéticas y las pérdidas térmicas del sistema pueden calcularse de forma independiente para cada subsistema de emisión y después sumarse para suministrar la potencia calorífica del subsistema común de distribución.

<sup>44</sup> Es objeto de este trabajo es velar por cual es de mejor aplicación a nuestro país con los datos disponibles.



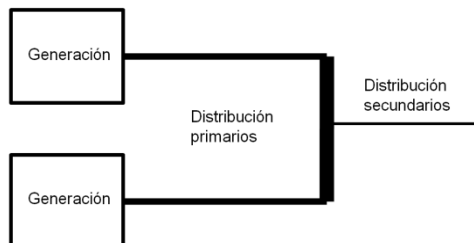
**Imagen 4.4:** Distribución común con a más de un subsistema de emisión

- Un subsistema común de generación que suministra energía 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 y para el subsistema de distribución de agua caliente sanitaria y pueden sumarse posteriormente para suministrar la potencia calorífica del subsistema común de generación.



**Imagen 4.5:** Subsistema común de generación que suministra a calefacción como ACS

- 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 cada intervalo de cálculo).



**Imagen 4.6:** Subsistema común de distribución suministrado por más de un subsistema de generación

## 4.8. Demanda energética y pérdidas térmicas

El punto de partida (dato inicial) para cada cálculo son las necesidades energéticas del edificio<sup>45</sup>, pero en un primer cálculo esto se realiza independiente del tipo de sistema que vaya abastecer dicha demanda, así por ejemplo, no se tienen en cuenta las ganancias internas que puedan existir porque discurre una tubería de calefacción por el interior de una zona calefactada del edificio.

<sup>45</sup>Las normas CEN proponen que se realicen de acuerdo con la Norma UNE EN ISO 13790. Para los cálculos de esta tesis doctoral 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 definirse a nivel nacional. En el Documento Técnico de Instalaciones Térmicas 7.03 Entrada de datos a los programas LIDER y CALENER Vyp [4.7] y 7.04 Entrada de datos al programa CALENER GT [4.8] editado por Atecyr se recogen estos valores.

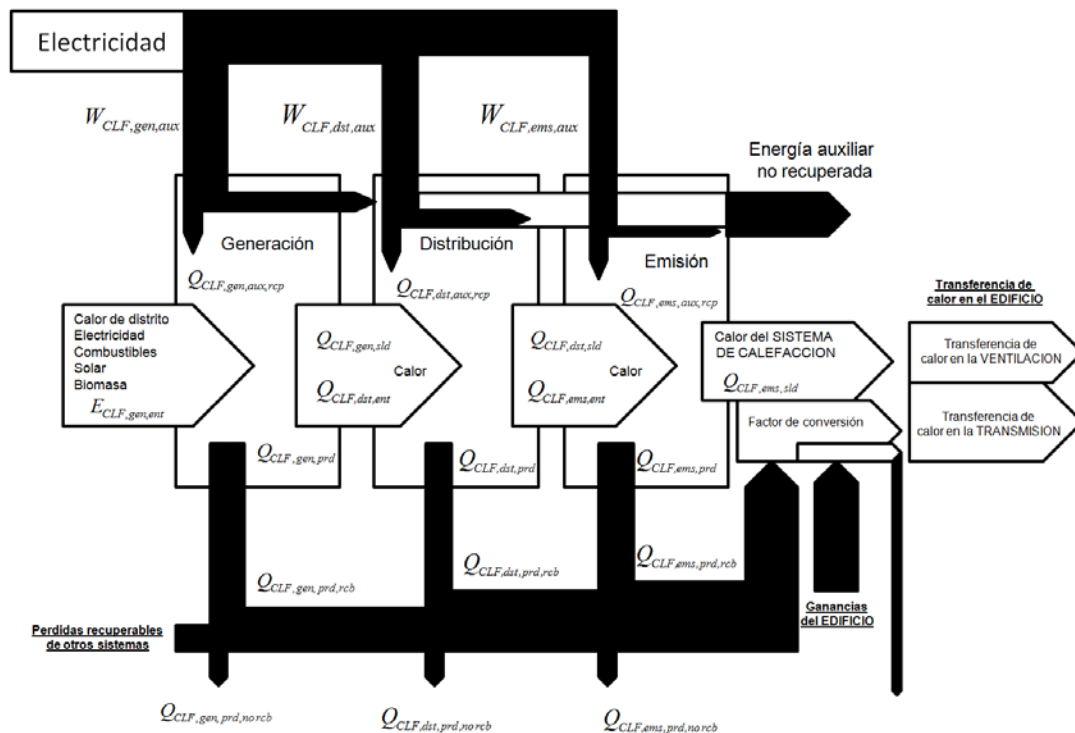
Para tener esto en cuenta las pérdidas térmicas recuperables que no estén incluidas en las necesidades energéticas del edificio en el punto de inicio se permiten [4.1] dos aproximaciones, aproximación holística y aproximación simplificada.

### 4.8.1. Aproximación holística

En la aproximación holística<sup>46</sup> las pérdidas térmicas recuperables se consideran en el cálculo de las necesidades energéticas térmicas nuevamente.

Como las pérdidas de los sistemas 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 UNE EN 15241, UNE EN 15243, y UNE EN 15316, y se determinan las pérdidas térmicas recuperables del sistema.
- 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% [4.2].
- 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 holística. Método iterativo. Conexión de la demanda con el sistema.

<sup>46</sup> Opción más común para simulaciones dinámicas, nivel D de exactitud.



## 4.8.2. Aproximación simplificada

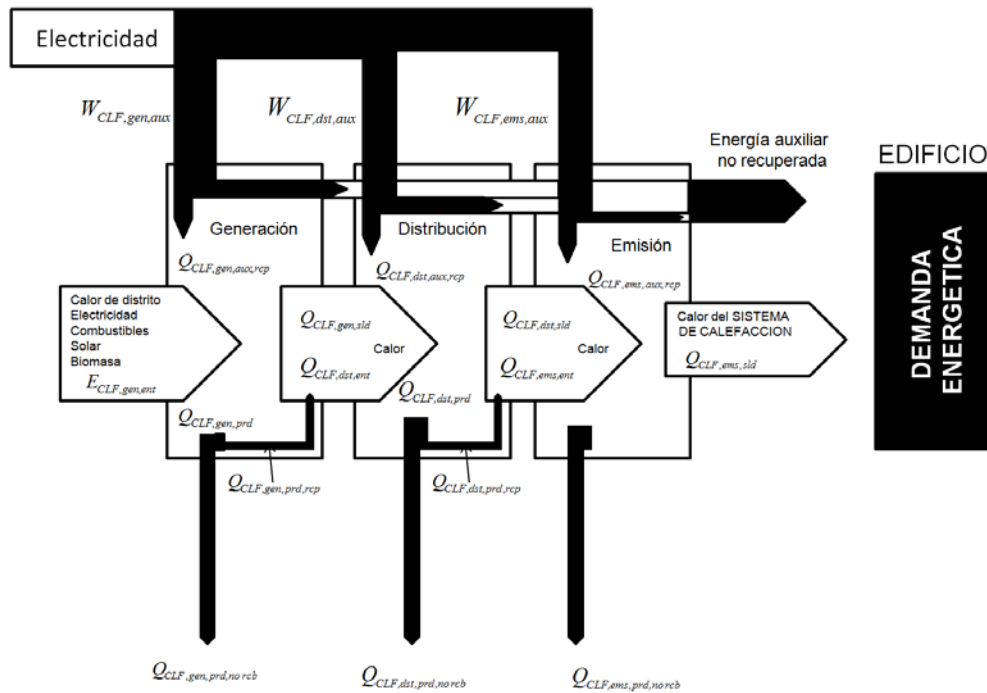
En la aproximación simplificada<sup>47</sup> las pérdidas de calor del sistema recuperadas, obtenidas multiplicando las pérdidas térmicas recuperables del sistema por un factor de recuperación, son directamente restadas de las pérdidas de cada sistema técnico del edificio considerado. Esto evita repeticiones. El procedimiento de cálculo es el siguiente (recordar que ya se tendría calculada la demanda energética inicial):

a) Se realizan los cálculos del subsistema de acuerdo con las series de Normas UNE EN 15241, UNE EN 15243, y UNE 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.

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% (factor de 0,8) [4.2].

c) Se restan las pérdidas térmicas recuperadas del subsistema de las pérdidas térmicas totales del subsistema para obtener las pérdidas térmicas recuperables.



**Imagen 4.8:** Aproximación simplificada. Sin iteraciones. Desconexión de demanda y consumo.

Este es el método que se adoptará en la propuesta de este trabajo para la inclusión de aquellas partes no consideradas actualmente en la metodología legislada en el procedimiento básico de eficiencia energética de los edificios en España.

<sup>47</sup> Opción más común para tabular valores.

## 5. Calefacción

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

### 5.1. Emisión

En el subsistema de emisión de calor las prestaciones energéticas pueden evaluarse mediante dos formas<sup>48</sup> [5.1] (en concreto a la hora de establecer las pérdidas térmicas de energía del subsistema de emisión), bien por los valores de la eficiencia del sistema de emisión de calor (método simplificado) o mediante valores de las temperaturas del local incrementadas debido a las ineficiencias del subsistema de emisión de calor (método holístico).

Como se cito los datos energéticos que se tienen que obtener del subsistema de emisión de calor, incluyendo el control, serán (la energía suministrada por el sistema 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) (ver imagen 4.8):

- Energía suministrada por el subsistema  $Q_{CLF,ems,sld} = Q_{CLF}$  ( dato de partida en este estudio)
- Consumo de energía auxiliar  $W_{CLF,ems,aux}$ , cuanto de este es recuperable como energía térmica  $Q_{CLF,ems,aux,rcb}$  y cuanta es verdaderamente recuperada  $Q_{CLF,ems,aux,rcp}$ .
- Pérdidas térmicas del sistema  $Q_{CLF,ems,prd}$  (nada es recuperable  $Q_{CLF,ems,prd,rcb} = 0$  y por tanto  $Q_{CLF,ems,prd,rcp}=0$ ).
- Consumo energético (térmico) del subsistema  $Q_{CLF,ems,ent}$ .

La eficiencia energética del subsistema de emisión de calefacción se calcularía aplicando la fórmula 5-1 (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

$$Q_{CLF,ems,ent} = Q_{CLF,ems,sld} + Q_{CLF,ems,prd} - Q_{CLF,ems,aux,rcp} \quad 5-2$$

#### 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.
- % de la energía eléctrica convertida en calor y emitida al local (zona) calentado.

<sup>48</sup> Para estas dos formas se presentan bien valores tabulados o métodos de cálculo más detallados.

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

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

donde

- $W_{CLF,ems,aux}$  Energía auxiliar (en el periodo considerado) (kWh)
- $W_{CLF,ems,ctr}$  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:

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

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


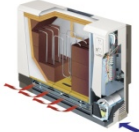
- $P_{CLF,ems,ctr}$  Consumo de energía eléctrica por unidad de tiempo del sistema de control con energía auxiliar (a partir de la tabla 5.1 o de la información del producto), en W (indicar que los valores propuestos de potencia son muy bajos, aconsejando obtener el valor real):

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

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)

- $n_{CLF,ems,vnt}$  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/día [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 (indicar que los valores propuestos de potencia son muy bajos, aconsejando obtener el valor real):

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

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

Para edificios con grandes espacios interiores con calefacción directa (el equipo de calefacción que se utilice no pueda 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  $P_{CLF,ems,aux,h>4,drc,ctr}$ :

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

- $P_{CLF,ems,aux,h>4,drc,ctr}$  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  $P_{CLF,ems,aux,h>4,ind,ctr}$ :

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

- $P_{CLF,ems,aux,h>4,ind,ctr}$  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 cito la tabla 5.3 proporcionan los valores por defecto de la energía auxiliar de los ventiladores y el sistema de control en los locales de altura  $h \geq 4$  m (edificios con grandes espacios interiores).

**Tabla 5.3:** Potencia de energía auxiliar (ventiladores y sistema de control) en espacios con altura  $h > 4$  m (grandes espacios interiores).

Sistemas			$P_{CLF,ems,aux,h>4,drc,entr}$ (W)	Unidad
Generador de calor de calefacción directa. (instalado en el espacio de trabajo)	Tubo radiantes eléctricos (control y regulación)		25 (por unidad)	
	Calentadores de tubo radiante de (control, regulación y ventiladores para impulsión del aire de combustión)	hasta 50 kW de combustión	80 (por unidad)	
		por encima de 50 kW de combustión	100 (por unidad)	
	Generador de aire caliente (control, regulación y ventilador para la impulsión del aire de combustión)	Ventilador axial de recirculación. Atmosférico	$0,014 \cdot Q_{CLF,ems,sld}$	
Ventilador radial de recirculación. Quemador		$0,022 \cdot Q_{CLF,ems,sld}$		
Sistemas			$P_{CLF,ems,aux,h>4,ind,entr}$ (W)	Unidad
Sistemas de emisión de calor de calefacción de aire	Calentador de aire en el espacio de trabajo (generador de calor central con calentador de aire calentado indirectamente)	altura del recinto $h < 8$ m	$0,012 \cdot Q_{CLF,ems,sld}$	
		altura del recinto $h > 8$ m	$0,016 \cdot Q_{CLF,ems,sld}$	
	Ventilador de recirculación vertical	altura del recinto $h < 8$ m	$0,002 \cdot Q_{CLF,ems,sld}$	
		altura del recinto $h > 8$ m	$0,013 \cdot Q_{CLF,ems,sld}$	

### 5.1.1.1. Energía auxiliar recuperada

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

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

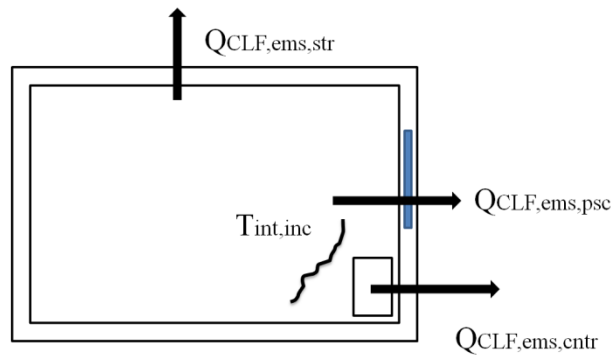
- $\xi_{CLF,ems,aux,rcp}$  Los valores convencionales del factor de recuperación se indican en las normas en función del subsistema o si no se facilita se supone que el factor de recuperación es del 80% (factor de 0,8) UNE EN 15603 [5.5]

### 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  $Q_{CLF,ems,psc}$ .
- Convección y radiación desde el sistema de emisión de calor a través de otras superficies exteriores  $Q_{CLF,ems,cntr}$ .

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

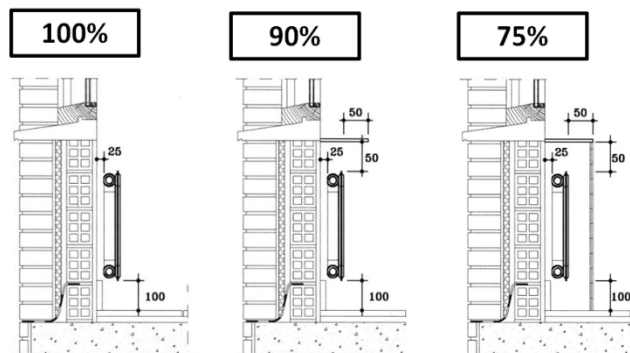


**Imagen 5.1:** Pérdidas de emisión por estratificación y posición

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 ( $Q_{CLF,ems,psc}$ ) está causada por transmisión adicional al exterior y se aplica a los sistemas de calefacción de suelo, techo y paredes. Sólo se considera como una pérdida cuando un lado de la parte del edificio que contiene el aparato de calefacción empotrado, da al exterior, al terreno, o a un local no calentado.

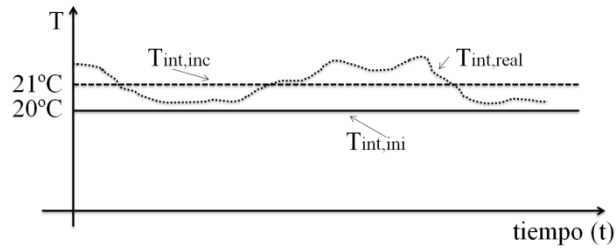
Si los emisores de calor están empotrados con diferentes características (por ejemplo aislamiento) se utilizan en la instalación de calefacción, es necesario tenerlo en cuenta mediante cálculos independientes.



**Imagen 5.2:** Pérdidas de emisión por posición. Distancia en mm.

La pérdida de energía adicional debida al control de los termostatos ( $Q_{CLF,ems,cntr}$ ) determinada de acuerdo con el siguiente método cubre sólo 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, debida 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 (a veces se diferencian dos valores diferentes para un mismo día o estación), mientras la temperatura actual de la zona ( $T_{int,real}$ ) variará de acuerdo con el concepto de control y las variaciones en las cargas interiores en cada hora.



**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 ( $T_{int,inc}$ ).

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. Indicadores de eficiencia

EN este método 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:

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

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, 5.6, 5.8, 5.10, 5.12 y 5.15 (-).
- $f_{CLF,ems,intr}$  Factor para el funcionamiento intermitente (opción dependiente del tiempo para la reducción de temperatura para cada local individual). Tablas 5.5, 5.6, 5.8, 5.10, 5.12 y 5.14 (-).
- $f_{CLF,ems,rdc}$  Factor del efecto radiación (relevante para sistemas de calefacción radiante). Tablas 5.5, 5.6, 5.8, 5.10, 5.12 y 5.14 (-).
- $\eta_{CLF,emsr}$  Nivel de eficiencia total del emisor de calor en el local. Ecuación 5-11.

En la anterior formula que cuanto mayor sea el  $\eta_{CLF,emsr}$  menor serán las pérdidas térmicas del subsistema de emisión y por tanto mejor será la eficiencia del sistema de calefacción. Más adelante se realizara un análisis de este nivel de eficiencia en función del sistema de calefacción y parámetros de control seleccionados.

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

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

donde,

- $\eta_{CLF,ems,str}$  Nivel de eficiencia parcial para un perfil de temperatura de aire vertical. Tablas 5.4, 5.6, 5.7, 5.9, 5.11 y 5.13
- $\eta_{CLF,ems,ctr}$  Nivel de eficiencia parcial del control de la temperatura del recinto. Tablas 5.4, 5.6, 5.7, 5.9, 5.11 y 5.13
- $\eta_{CLF,ems,psc}$  Nivel de eficiencia parcial para pérdidas específicas de los componentes externos. Tablas 5.4, 5.6, 5.7, 5.9, 5.10 y 5.13

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 reproducen 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  $\Delta T_{ln_{CLF,ems,dñ}}$  (segunda fila de la siguiente tabla) y posición del radiador (tercera fila de la tabla).

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



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

Parámetros		Eficiencias		
		$\eta_{\text{CLF,ems,str}}$	$\eta_{\text{CLF,ems,ctr}}$	$\eta_{\text{CLF,ems,pse}}$
Regulación de la temperatura de la zona	Sin regulación, con regulación de la temperatura de impulsión central		0,80	
	Local principal		0,88	
	Controlador-P (2 K) <sup>49</sup>		0,93	
	Controlador-P (1 K) <sup>50</sup>		0,95	
	Controlador-PI <sup>51</sup>		0,97	
	Controlador-PI (con función de optimización, por ejemplo gestión de presencia)		0,99	
$\Delta T_{\text{InCLF,ems,dsh}}$ (referencia $T_{\text{int,rf}} = 20^\circ\text{C}$ )	$\Delta T_{\text{InCLF,ems,dsh}} = (T_{\text{ems,imp,dsh}} + T_{\text{ems,rtr,dsh}}) / 2 - T_{\text{int,rf}}$	$\eta_{\text{CLF,ems,str1}}$	$\eta_{\text{CLF,ems,str2}}$	
	60 K (90/70)	0,88		
	42,5 K (70/55)	0,93		
	30 K (55/45)	0,95		
Posición del radiador ( $A_{\text{vdr}} = \text{área acristalada}$ )	Posición del radiador en pared interna		0,87	1
	Posición del radiador en pared externa:			
	$A_{\text{vdr}}$ sin protección de radiación		0,83	1
	$A_{\text{vdr}}$ con protección de radiación <sup>a</sup>		0,88	
	Pared externa normal		0,95	

a: La protección de la radiación necesita prevenir un 80% de las pérdidas de radiación del RADIADOR al área de la superficie acristalada por medio de aislamiento y/o reflexión.

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

Parámetros	$f_{\text{CLF,ems,hdr}}$	$f_{\text{CLF,ems,intr}}$	$f_{\text{CLF,ems,rdc}}$
<b>Sistemas no equilibrados ( retorno invertido)</b>	1,03	0,97	1,00
<b>Equilibrado estático.</b>	1,01		
<b>Equilibrado dinámico con más de 8 emisores por control</b>			
<b>Equilibrado dinámico con maximo 8 emisores por control</b>	1,00		

<sup>49</sup> Controlador proporcional con ancho de banda de 2 K [5.31].

<sup>50</sup> Controlador proporcional con ancho de banda de 1 K [5.31].

<sup>51</sup> Controlador proporcional integral [5.31].

**Tabla 5.6:** CERRAMIENTO RADIANTE  $h \leq 4m$ . Eficiencias parciales.

Parámetros		Eficiencias parciales		
		$\eta_{CLF,ems,shr}$	$\eta_{CLF,ems,entr}$	$\eta_{CLF,ems,psc}$
Regulación de la temperatura de la zona	<b>Calor transportado por medio del agua</b>			
		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 local principal		0,83
		controladores de dos etapas/controlador-P		0,93
		controlado PI		0,95
	<b>Calor transportado por resistencia eléctrica</b>			
		controlador de dos etapas		0,91
		controlador-PI		0,93
Sistema	Calefacción de suelo			$\eta_{CLF,ems,psc1}$
	con agua	1		0,93
	con resistencia eléctrica			0,96
	con resistencia eléctrica de baja cobertura			0,98
	Calefacción de pared	0,96		0,93
Calefacción de techo	0,93			
Pérdidas específicas de calor a través de las superficies contiguas	Sin aislamiento mínimo			0,86
	Aislamiento mínimo. Norma UNE EN 1264 [5.5]			0,95
	100% de aislamiento			0,99

**Tabla 5.7:** Resistencia térmica mínima del aislamiento Norma UNE EN 1264

Resistencia Térmica (espesor para $\lambda=0,04$ W/m <sup>2</sup> K)	Habitación calentada	Habitación no calentada o calentada internamente o directamente en el terreno*	Suelo al aire exterior. Temperatura exterior de diseño		
			$T_{ext,dsñ} \geq 0\text{ }^{\circ}\text{C}$	$0^{\circ}\text{C} > T_{ext,dsñ} \geq -5^{\circ}\text{C}$	$-5^{\circ}\text{C} > T_{ext,dsñ} \geq -15^{\circ}\text{C}$
m <sup>2</sup> k/W(cm)	0,75 (3)	1,25 (5)	1,75 (7)	2,00 (8)	

\*Con un nivel térmico de agua  $\leq 5m$  el valor debería aumentarse

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

$$\eta_{CLF,ems,psc} = \frac{\eta_{CLF,ems,psc1} + \eta_{CLF,ems,psc2}}{2} \quad 5-14$$

**Tabla 5.8:** CERRAMIENTO RADIANTE  $h \leq 4m$ . Valores de los factores  $f_{CLF,ems,i}$

Parámetros	$f_{CLF,ems,adr}$	$f_{CLF,ems,intr}$	$f_{CLF,ems,rdc}$
<b>Sistemas no equilibrados ( retorno invertido)</b>	1,03	0,98	1,00
<b>Equilibrado estático.</b>	1,01		
<b>Equilibrado dinámico con más de 8 emisores por control</b>	1,00		

**Tabla 5.9:** CALEFACCION ELECTRICA. Altura de la zona  $h \leq 4m$ . Eficiencias parciales.

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 5.10:** CALEFACCION ELECTRICA. Altura de la zona  $h < 4m$ . Valores de los factores  $f_{CLF,ems,i}$

Parámetros	$f_{CLF,ems,hdr}$	$f_{CLF,ems,intr}$	$f_{CLF,ems,rdc}$
<b>CALEFACCION ELECTRICA</b>	1	0,97	1

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

Configuración del sistema	Parámetro de control	$\eta_{CLF,emsr}$	
		Control fino <sup>52</sup>	Control basto <sup>53</sup>
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 5.12:** Edificios terciarios. Altura de la zona  $h \leq 4m$ . Valores de los factores  $f_{CLF,ems,i}$

Parámetros de influencia	$f_{CLF,ems,hdr}$	$f_{CLF,ems,intr}$	$f_{CLF,ems,rdc}$
<b>CALEFACCION ELECTRICA</b>	1	1	1

<sup>52</sup> No se define en la norma pero puede tratarse de controladores proporcionales integrales (PI) o proporcionales integrados derivados (PID).

<sup>53</sup> No se define en la norma pero puede tratarse de controladores proporcionales (P) o sin controlador.

**Tabla 5.13:** GRANDES ESPACIOS INTERIORES. Alturas  $4\text{m} < h \leq 10\text{m}$ . Eficiencias parciales.

Parámetros		Eficiencias parciales						
		$\eta_{\text{CLF,ems,str}}$				$\eta_{\text{CLF,ems,ent}}$	$\eta_{\text{CLF,ems,psc}}$	
Altura en metros h:		4	6	8	10			
<b>Regulación de la temperatura de la zona</b>	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		
<b>Sistemas de calefacción</b>	Radiadores	0,98	0,94	0,88	0,83		1	
	Aire caliente <u>Sin</u> recirculación vertical adicional	Salida horizontal	0,98	0,94	0,88	0,83		1
		Salida vertical	0,99	0,96	0,91	0,87		1
	Aire caliente <u>Con</u> recirculación vertical adicional	Salida horizontal	0,99	0,97	0,94	0,91		1
		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 5.14:** GRANDES ESPACIOS INTERIORES. Alturas  $4\text{m} < h \leq 10\text{m}$ . Factores  $f_{\text{CLF,ems,i}}$

Parámetros	$f_{\text{CLF,ems,hdr}}$	$f_{\text{CLF,ems,intr}}$	$f_{\text{CLF,ems,rdc}}$
<b>GRANDES ESPACIOS</b>	1	1	0,85

**Tabla 5.15:** GRANDES ESPACIOS INTERIORES. Alturas  $h > 10\text{m}$ . Eficiencias parciales

Parámetros			Eficiencias parciales				
			$\eta_{\text{CLF,ems,str}}$			$\eta_{\text{CLF,ems,ent}}$	$\eta_{\text{CLF,ems,psc}}$
Altura en metros h:			12	15	20		
Regulación de la temperatura de la zona	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	Salida horizontal	0,78	0,72	0,63		1
	<u>Sin</u> recirculación vertical adicional	Salida vertical	0,84	0,78	0,71		1
	Aire caliente	Salida horizontal	0,88	0,84	0,77		1
	<u>Con</u> recirculación vertical adicional	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 5.16:** GRANDES ESPACIOS INTERIORES. Alturas  $h > 10\text{m}$ . Factores  $f_{\text{CLF,ems,i}}$

Parámetros	$f_{\text{CLF,ems,hdr}}$	$f_{\text{CLF,ems,intr}}$	$f_{\text{CLF,ems,rdc}}$
<b>GRANDES ESPACIOS</b>	1	1	0,85

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 90/75 °C ( valores actualmente, RITE, prohibidos pero que se pueden encontrar en edificios existentes), 80/60 °C y 60/50 °C (en todos las temperatura interior 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:

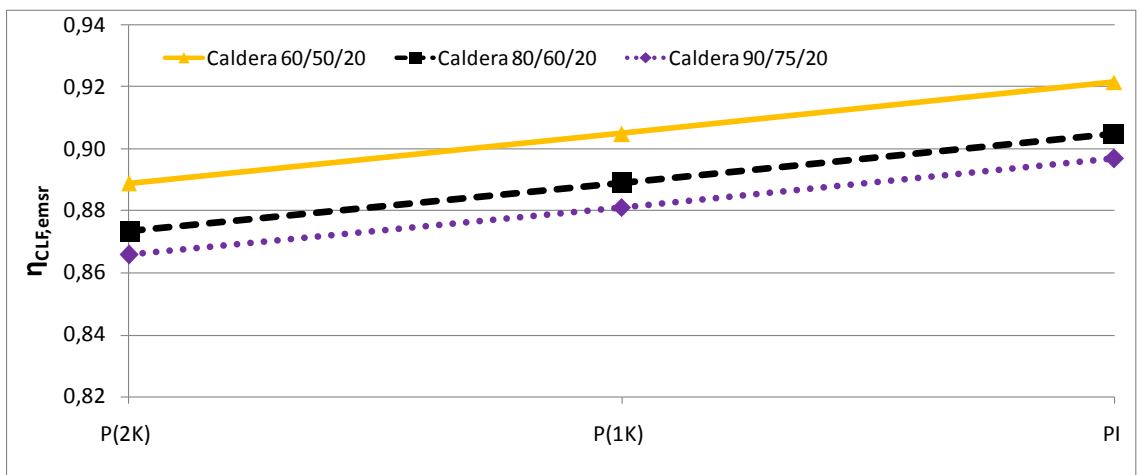
**Tabla 5.17:** Sensibilidad de las pérdidas energéticas en radiadores

Temperatura imp/rtr/zona	Control $T_{int}$ ZONA	$\Delta Tln_{CLF,ems,dsñ} \text{ } ^\circ\text{C}$	$\eta_{CLF,ems,str1}$	$\eta_{CLF,ems,str2}$	$\eta_{CLF,ems,psc}$	$\eta_{CLF,ems,contr}$	$\eta_{CLF,ems,str}$	$\eta_{CLF,emsr}$
Caldera 90/75/20 $^\circ\text{C}$	P(2K)	60	0,88	0,95	1	0,93	0,94	<b>0,87</b>
	P(1K)					0,95		<b>0,88</b>
	PI					0,97		<b>0,90</b>
Caldera 80/60/20 $^\circ\text{C}$	P(2K)	50	0,90(*)	0,95	1	0,93	0,95	<b>0,87</b>
	P(1K)					0,95		<b>0,89</b>
	PI					0,97		<b>0,90</b>
Caldera 60/50/20 $^\circ\text{C}$	P(2K)	35	0,94(*)	0,95	1	0,93	0,955	<b>0,89</b>
	P(1K)					0,95		<b>0,90</b>
	PI					0,97		<b>0,92</b>

(\*) Valor interpolado

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 emisor<sup>54</sup> y mayor sea la temperatura de retorno, es decir, mayor sea la superficie de intercambio del radiador. En definitiva todos los parámetros que disminuyan  $\Delta Tln_{CLF,ems,dsñ}$ . Evidentemente cuanto más sensible sea el sistema de control menos pérdidas energéticas existirán.

Se representan a continuación los valores en la imagen 5.4



**Imagen 5.4:** Pérdidas de emisión por control de la  $T_s$  en la zona con 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 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:

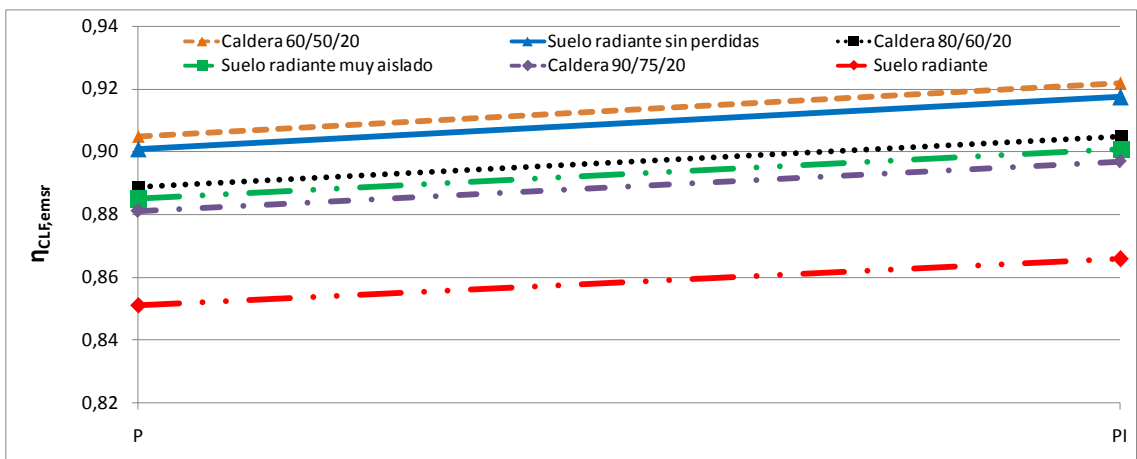
<sup>54</sup> Además esto permitiría utilizar generadores de calor que no puedan impulsar agua a temperaturas muy altas, bombas de calor, y aprovechar mejor la técnica de la condensación de humos en las calderas de condensación (si se impulsa agua a temperaturas más bajas las temperaturas de retorno serán también más bajas y se llegara más fácilmente a la temperatura de rocío de los humos [5.9]).

**Tabla 5.18:** Sensibilidad de las pérdidas energéticas en suelo radiante.

Suelo radiante. Aislamiento	Control	$\eta_{CLF,ems,psc1}$	$\eta_{CLF,ems,psc2}$	$\eta_{CLF,ems,psc}$	$\eta_{CLF,ems,ent}$	$\eta_{CLF,ems,str}$	$\eta_{CLF,emsr}$
Sin aislante	P-control	0,93	0,86	0,94	0,93	1	0,88
	PI-control				0,95		0,90
Muy aislado	P-control	0,93	0,95	0,96	0,93	1	0,90
	PI-control				0,95		0,92
Sin pérdidas	P-control	0,93	0,99	1	0,93	1	0,93
	PI-control				0,95		0,95

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 este aislado el suelo radiante menores pérdidas se van a producir.

Se representan a continuación los valores de la tabla 5.18 y 5.17 en la imagen 5.5.



**Imagen 5.5:** Pérdidas de emisión por control de la Ts en suelo radiante

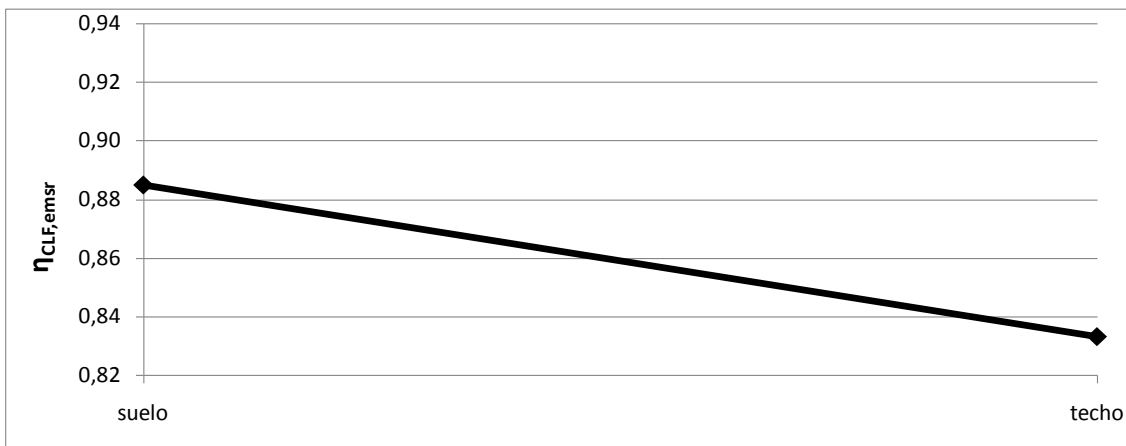
Conforme a lo indicado y como muestra la comparativa de la imagen 5.5 la elección del sistema de emisión de calor es importante de cara a valorar las pérdidas térmicas de la instalación del sistema de calefacción. Los gráficos muestran que un suelo radiante sin aislar obtiene una eficiencia en emisión muy mala, incluso peores que sistemas de radiadores con temperaturas de impulsión de 90°C. Un buen aislamiento del suelo radiante y una impulsión baja en los sistemas de radiadores ofrecen mejores eficiencias. Debieran parametrizarse las eficiencias del suelo radiante también en función de la temperatura de distribución.

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

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

Suelo radiante muy aislado	Posición	$\eta_{CLF,ems,psc1}$	$\eta_{CLF,ems,psc2}$	$\eta_{CLF,ems,psc}$	$\eta_{CLF,ems,ent}$	$\eta_{CLF,ems,str}$	$\eta_{CLF,emsr}$
	suelo	0,93	0,95	0,94	0,93	1	<b>0,88</b>
	techo	0,93	0,95	0,94	0,93	0,93	<b>0,83</b>

Se representan a continuación los valores en la imagen 5.6.



**Imagen 5.6:** Pérdidas de emisión por posición de la superficie radiante

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 techo y suelo.

**5.1.2.2. Incremento de la temperatura interior**

En este método el cálculo de la pérdida térmica del subsistema de emisión  $Q_{CLF,ems,prd}$  se puede determinar a partir de incremento de la temperatura interior  $T_{int,inc}$  (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  $\Delta T_{CLF,ems,entr}$  (°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:

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

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

Las siguientes tablas proporcionan la variación de temperatura interna a aplicar 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.

**Tabla 5.20:** Variación por tipo de emisor de calor a carga nominal función de la altura del techo

Clase de variación espacial	Emisor de calor	$\Delta T_{CLF,ems,str}$ (°C)			
		< 4 m	4-6 m	6-8 m	> 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 5.21:** Variación espacial RADIADORES función de la temperatura del agua y de la carga térmica

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
$\Delta T_{CLF,ems,dsñ} > 40$ K	0	0,4
$\Delta T_{CLF,ems,dsñ} \leq 40$ K	0	0,2

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

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

<sup>a</sup> 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].  
<sup>b</sup> la exactitud de control (CA) del controlador se obtiene de la norma UNE EN 15500. Nunca superior a 2 K [5.8]  
<sup>c</sup> valores intermedios se obtienen por interpolación.

Conocido  $\Delta T_{int,inc}$  las pérdidas térmicas del sistema de emisión de calor se obtienen de cualquier 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 ( $\Delta T_{int,inc} = T_{int,inc} - T_{int,ini}$ ) y la diferencia de temperatura media exterior para el periodo de cálculo y temperatura interior del local:

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

- 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):

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

## 5.2. Distribución

Como se señaló los datos energéticos que se tienen que obtener del subsistema de emisión de calor, incluyendo el control, serán (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 sistema de distribución):

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

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

$$\eta_{CLF,dst} = \frac{Q_{CLF,dst,sld}}{f_y \cdot Q_{CLF,dst,ent} + f_z \cdot W_{CLF,dst,aux}} \quad 5-19$$

La energía térmica requerida para la emisión de calor es

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

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 circulado, la caída de presión de la red de distribución 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 (tiempo de funcionamiento) determina el consumo energético.

La potencia hidráulica en el punto de diseño se calcula partir de principios físicos, sin embargo, para el cálculo de la potencia hidráulica durante el funcionamiento debieran 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 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 anterior  $W_{CLF,dst,hdr,anl}$  (demanda de energía hidráulica anual (kWh/año)) y  $e_{CLF,dst}$  (factor de energía consumida para el funcionamiento de la bomba (-)).

La demanda de energía hidráulica de las bombas ( $W_{CLF,dst,hdr,anl}$ ), se determina a partir de la potencia hidráulica en el punto de diseño ( $P_{CLF,hdr,dst}$ ), la carga parcial media de la distribución ( $\beta_{CLF,dst,anl}$ ) y las horas de calefacción en el intervalo de cálculo ( $t_{CLF,ON-OFF,anl}$ ):

**\*Demanda de energía hidráulica anual  $W_{CLF,dst,hdr,anl}$**

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

donde

- $P_{CLF,hdr,dst}$  Potencia hidráulica en el punto de diseño (W)
- $f_{CLF,Timp}$  Factor de corrección para la temperatura del caudal 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  $f_{CLF,Timp}$ ,  $f_{CLF,red,hdr}$ ,  $f_{CLF,A,emsr}$  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.

Se describe a continuación el de cálculo para los factores descritos anteriormente.

## **CÁLCULO DE LA POTENCIA HIDRÁULICA (DEMANDADA) DE DISEÑO $P_{CLF,hdr,dst}$**

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

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

donde

- $V_{CLF,dst}$  Caudal en el punto de diseño ( $m^3/h$ )
- $\Delta p_{CLF,dst}$  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

$$V_{CLF,dst} = \frac{3.600 \cdot \phi_{CLF,ems}}{C_{e_{ag}} \cdot \rho_{ag} \cdot \Delta T_{CLF,dst,dst}} \quad 5-25$$

donde,

- $C_{e_{ag}}$  Capacidad calorífica específica del agua<sup>55</sup> (kJ/kgK)
- $\rho_{ag}$  Densidad del agua<sup>56</sup> ( $kg/m^3$ )
- $\Delta T_{CLF,dst,dst}$  Diferencia de temperatura entre impulsión y retorno de diseño (K). No confundir con  $\Delta T_{ln,CLF,ems,dst}$  que es la diferencia media logarítmica.

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

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

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)
- $\Delta p_{emsr}$  Presión diferencial de la superficie de calefacción (kPa). Radiador, suelo radiante...
- $\Delta p_{vc}$  Presión diferencial de válvula de control de la superficie de calentamiento (kPa)
- $\Delta p_{vz}$  Presión diferencial de las válvulas de la zona (kPa)
- $\Delta p_{CLF,gnr}$  Presión diferencial del suministro de calor (kPa). Caldera, bomba de calor...
- $\Delta p_{CLF,vrs}$  Presión diferencial de las resistencias adicionales (kPa). Válvulas de corte...

<sup>55</sup>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 tesis doctoral se supone que no varía ni con la presión ni con la temperatura.

<sup>56</sup>Para los cálculos de esta tesis doctoral se toma el valor de  $1 \text{ kg/l} = 1.000 \text{ kg/m}^3$ .

La norma UNE EN 15316 [5.2] propone una aproximación<sup>57</sup> para el cálculo de la presión diferencial en el punto de diseño  $\Delta p_{CLF,dst}$  fijando una pérdida de presión por longitud del circuito de calefacción ( $R_{CLF,hd} = 0,1 \text{ kPa/m} = 100 \text{ Pa/m}$ ) y un índice de pérdida de presión adicional para componentes de  $f_{CLF,cmp} = 0,3$ .

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

donde

- $\Delta p_{CLF,pln}$  Pérdida de presión para los sistemas de calefacción por planta (una zona puede abastecer varias plantas, por ejemplo la zona Oeste de un edificio de 5 plantas) (kPa). Incluye emisores, válvulas y demás resistencias adicionales.

Así las variables para determinar la presión diferencial en el punto de diseño son sólo 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 para  $\Delta p_{CLF,pln}$  y/o  $\Delta p_{CLF,gnr}$  (del fabricante) no están disponibles se aplican un valor por defecto de  $\Delta p_{CLF,pln} = 25 \text{ kPa}$  (incluyendo válvulas y emisor) y  $\Delta p_{CLF,gnr}$  se obtiene de la siguiente tabla en función de su inercia:

**Tabla 5.23:** Pérdida de presión de los generadores de calor

Tipo de generador de calor		$\Delta p_{CLF,gnr}$ (kPa)	$\Delta p_{CLF,gnr}$ (mca)	$\Delta p_{CLF,gnr}$ (mbar)
Generador con contenido de agua > 0,3 l/kW		1	0,10	10
Generador con contenido de agua ≤ 0,3 l/kW	$\Phi_{gnr,max} < 35 \text{ kW}$	$20 \cdot (V_{gnr,dst})^2$	4,63*	454*
	$\Phi_{gnr,max} \geq 35 \text{ kW}$	80	8,16	800

$\Phi_{gnr,max}$  es la carga de calor máxima (potencia);  $V_{gnr,dst}$  es el caudal de diseño del generador ( $\text{m}^3/\text{h}$ )  
\*Valor obtenido para  $V_{gnr,dst} = 1,5 \text{ m}^3/\text{h}$  (salto de 20 K y potencia 35 kW)

Como se aprecia en la tabla, las normas CEN diferencian, entre calderas con grandes inercias térmicas, contenido de agua > 0,3 l/kW (arquitectura con tubos de paso de agua grandes), asignándoles pérdidas de carga inferiores que a calderas con pequeñas inercias térmicas, con contenido de agua ≤ 0,3 l/kW (tubos de paso de agua más pequeños y por tanto mayor pérdida de carga).

Se han comprobado estos valores propuestos con los aportados por varios fabricantes. En el caso de calderas con grande inercias, los valores nominales propuestos por las normas CEN son demasiado conservadores (consultando varios catálogos, esta valor oscila entre 2,7 kPa (0,27 mca) y 21 kPa (2,1 mca) y no el valor de 1 kPa (0,10mca) propuesto por la norma).

En el caso de calderas de baja inercia es acertado diferenciar en función de su potencia, ofreciendo mas pérdida de carga aquellas calderas con mayor potencia térmica. Los valores nominales propuestos por las normas CEN son demasiado elevados (consultando varios catálogos<sup>58</sup>, esta valor oscila entre 150 kPa (150 mbar) y 2,5 kPa (25 mbar) y no el valor de 80 kPa (450-800 mbar) propuesto por la norma).

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

<sup>57</sup> Extraña el valor numérico y constante 2 que en ningún momento dentro de las normas se explica. Probablemente se trate de la pérdida de presión de una válvula de equilibrado que se suele colocar en la unidad terminal más alejada (más desfavorable).

<sup>58</sup> Es un dato difícil de obtener pues por la construcción propia de la caldera individual no tiene mucha validez ya que la caldera se suministra con una bomba y nunca se quita la bomba para implementarlo en una instalación, ni se suministran sin ella.

$$L_{CLF,dst,max} = 2 \cdot \left( L_{lrg} + \frac{L_{anch}}{2} + n_{pIn} \cdot h_{pIn} + L_{CLF,otr} \right)$$

donde

- $L_{lrg}$  Largo de la zona (lado largo de la sección de la planta del edificio) (m)
- $L_{anch}$  Anchura de la zona (lado corto de la sección de la planta del edificio) (m)
- $n_{pIn}$  Número de plantas (calefactadas) por zona (parte del edificio) (-)
- $h_{pIn}$  Altura media de las plantas en la zona (parte del edificio) (m)
- $L_{CLF,otr}$  10 m para sistemas de calefacción bitubulares;  $L_{lrg}+L_{anch}$  para sistemas de calefacción monotubo.

### CÁLCULO DE CARGA PARCIAL MEDIA DE DISTRIBUCIÓN POR ZONA

La carga parcial media de distribución anual viene dada por:

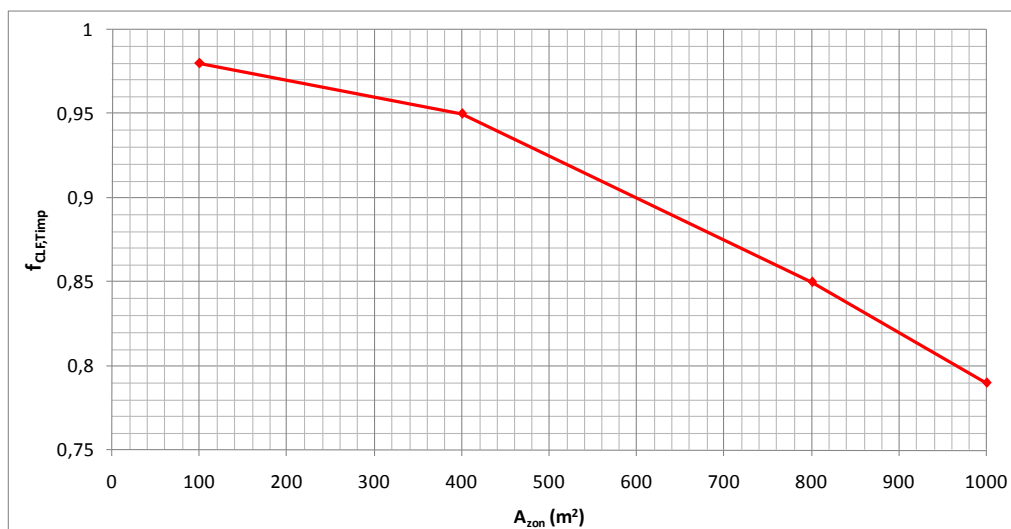
$$\beta_{CLF,dst,anl} = \frac{Q_{CLF,dst,sld}}{\phi_{CLF,ems} \cdot t_{CLF,ON-OFF,anl}} \quad 5-29$$

- $Q_{CLF,dst,sld}$  Energía térmica producida del sistema de distribución por intervalo de cálculo ( en esta caso anual) (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). En el ejemplo de aplicación *Anexo VII: Ejercicios de aplicación normas CEN* dice como poder estimarlo si no se conoce.

### CORRECCIÓN PARA EL 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 (para  $A_{zon}$  menores de 100 m<sup>2</sup> se puede interpolar).



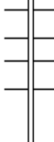
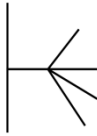


**Imagen 5.7:** Factor de corrección con control de la temperatura de impulsión constante

### **FACTOR DE CORRECCIÓN PARA REDES HIDRÁULICAS $f_{CLF,red,hdr}$**

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

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

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

NOTA: El diseño de red en forma de estrella es también válido para sistemas de suelo radiante.

### **CORRECCIÓN DIMENSIONAMIENTO DEL AREA 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 sobre-dimensionado adicional de la superficie de calefacción  $f_{CLF,A,emsr}= 0,96$ .

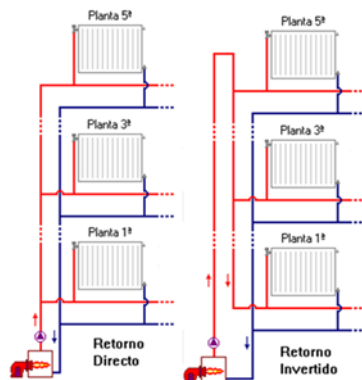
No se indica en la norma como estimar si un diseño ha sido sobredimensionado o no, pero se propone que si el cálculo se realiza con un programa que considere la inercia de los muros a través de funciones de transferencia estaría no sobredimensionada y en caso contrario sobredimensionado.

### **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  $f_{CLF,eq,hdr} = 1,15$ .

Sorprende que la norma no analice un factor diferente para el tipo de equilibrado que se haya ejecutado en la instalación. Quizás es debido a que durante el desarrollo y redacción de la norma se profundizó más en estudios sobre instalaciones de calefacción de viviendas, en las que es habitual (circuitos hidráulicamente sencillos) equilibrar con retorno invertido.

El retorno invertido consiste en que la distancia hidráulica de todas las unidades terminales sea similar. Si todas las unidades tienen la misma pérdida de presión a caudal nominal, circulará el mismo caudal por todas ellas (habitual en sistemas de calefacción para viviendas).



**Imagen 5.8:** Retorno invertido y directo

El equilibrado hidráulico fino se realiza mediante válvulas de equilibrado<sup>59</sup> estáticas, válvulas de equilibrado dinámicas<sup>60</sup> o válvulas de equilibrado dinámicas con control de caudal<sup>61</sup>.

A continuación se muestra la tabla resumen de la estimación del consumo de energía anual de una instalación formada por 10 fancoils de un edificio situado en Cáceres (zona climática C4) y para una aplicación con horario de 12 horas de oficinas de intensidad media según tipifica el Documento Básico de Ahorro de Energía del Código Técnico de la Edificación (Orden FOM/1635 de 10 de setiembre de 2013).

Se comprueba que existe poca diferencia energética (quizás por esta razón tampoco se diferencia esta situación en las normas CEN) entre el control convencional con válvulas estáticas o dinámicas (del orden del 10 %) [5.32]. Las válvulas dinámicas introducen una mayor pérdida de presión en condiciones nominales que en el funcionamiento a cargas parciales compensan [5.32].

**ENERGÍA CONSUMIDA. TABLA RESUMEN**

EQUILIBRADO ESTÁTICO			EQUILIBRADO DINÁMICO			VÁLVULAS DINÁMICAS DE EQ Y CONT.		
CAUDAL <sub>TOT</sub> m <sup>3</sup> /h	Δp <sub>TOTAL</sub> mca	P <sub>ELECTRICA</sub> W	CAUDAL <sub>TOT</sub> m <sup>3</sup> /h	Δp <sub>TOTAL</sub> mca	P <sub>ELECTRICA</sub> W	CAUDAL <sub>TOT</sub> m <sup>3</sup> /h	Δp <sub>TOTAL</sub> mca	P <sub>ELECTRICA</sub> W
8,00	11,05	602,2	8,00	12,55	684,0	8,00	10,50	572,3

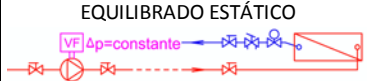
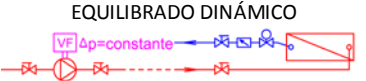
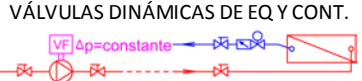
**VÁLVULAS DE 3 VÍAS**

EQUILIBRADO ESTÁTICO	EQUILIBRADO DINÁMICO	VÁLVULAS DINÁMICAS DE EQ Y CONT.
CONSUMO ANUAL (kWh): <b>930</b>	CONSUMO ANUAL (kWh): <b>1056</b>	CONSUMO ANUAL (kWh): <b>884</b>

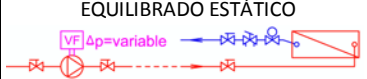
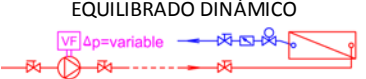
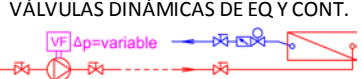
**VÁLVULAS DE 2 VÍAS. BOMBA A VELOCIDAD CONSTANTE**

EQUILIBRADO ESTÁTICO	EQUILIBRADO DINÁMICO	VÁLVULAS DINÁMICAS DE EQ Y CONT.
 CONSUMO ANUAL (kWh): <b>773</b>	 CONSUMO ANUAL (kWh): <b>828</b>	 CONSUMO ANUAL (kWh): <b>645</b>

**VÁLVULAS DE 2 VÍAS. BOMBA A VELOCIDAD VARIABLE CON Δp=constante**

EQUILIBRADO ESTÁTICO	EQUILIBRADO DINÁMICO	VÁLVULAS DINÁMICAS DE EQ Y CONT.
 CONSUMO ANUAL (kWh): <b>683</b>	 CONSUMO ANUAL (kWh): <b>733</b>	 CONSUMO ANUAL (kWh): <b>559</b>

**VÁLVULAS DE 2 VÍAS. BOMBA A VELOCIDAD VARIABLE CON Δp=variable**

EQUILIBRADO ESTÁTICO	EQUILIBRADO DINÁMICO	VÁLVULAS DINÁMICAS DE EQ Y CONT.
 CONSUMO ANUAL (kWh): <b>479</b>	 CONSUMO ANUAL (kWh): <b>532</b>	 CONSUMO ANUAL (kWh): <b>367</b>

**Imagen 5.9:** Imagen obtenida del borrador de la Guía de Ahorro de Energía: *Medidas de Ahorro energético en los circuitos hidráulicos.*

**CORRECCIÓN PARA 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  $f_{CLF,gnr,bmb,int} = 0,45$ .

<sup>59</sup> En el caso de instalaciones a caudal constante, es habitual realizar el equilibrado del circuito mediante válvulas de equilibrado estáticas

<sup>60</sup> Se trata de válvulas que producen una pérdida de presión variable de forma que producen que el caudal que pasa por ellas se mantenga constante en un amplio rango de funcionamiento

<sup>61</sup> Se trata de una evolución muy interesante de las válvulas de equilibrado dinámicas, donde se une la función de equilibrado y la función de control. La pérdida de presión del circuito puede ser inferior a la pérdida de presión de la solución de válvula de control convencional de 2 vías junto a válvula de equilibrado dinámica o estática.



En este factor es donde mayor 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. Pierden por tanto peso los anteriores factores.

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

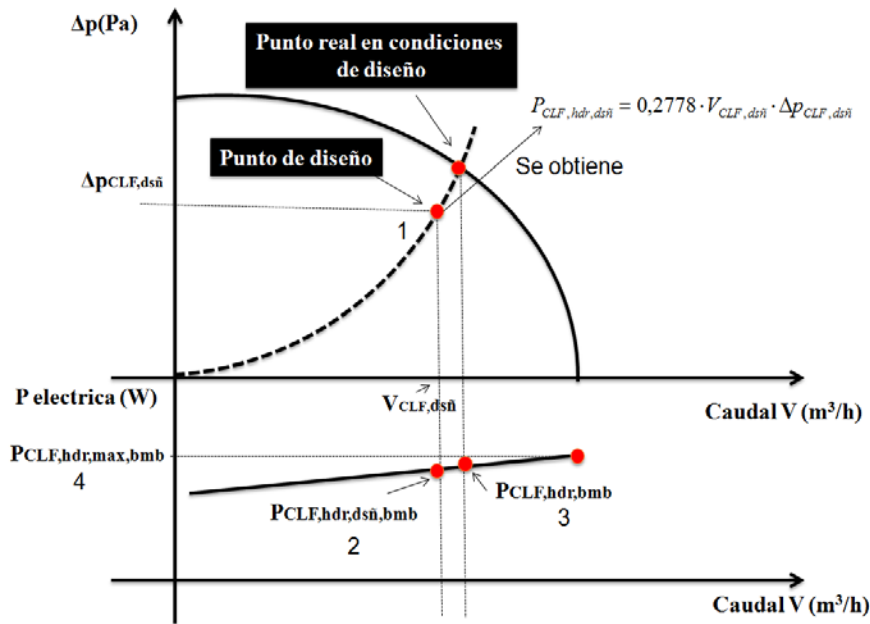
Para la evaluación de las condiciones de carga parcial y prestaciones de control del funcionamiento de la bomba de circulación, el factor de energía consumida se determina por:

$$e_{CLF,dst} = f_{CLF,dst,ctr} \cdot f_{CLF,dst,fc} \cdot f_{CLF,dst,\eta} \cdot f_{CLF,dst,dsñ} \quad 5-30$$

donde

- $f_{CLF,dst,ctr}$  Factor de corrección para el control de la bomba.
- $f_{CLF,dst,fc}$  Factor de corrección para la carga parcial de la bomba.
- $f_{CLF,dst,\eta}$  Factor de corrección para la eficiencia de la bomba.
- $f_{CLF,dst,dsñ}$  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  $f_{CLF,dst,fc}$  y el control  $f_{CLF,dst,ctr}$ .



**Imagen 5.10: Factor de energía consumida**

Leyenda:

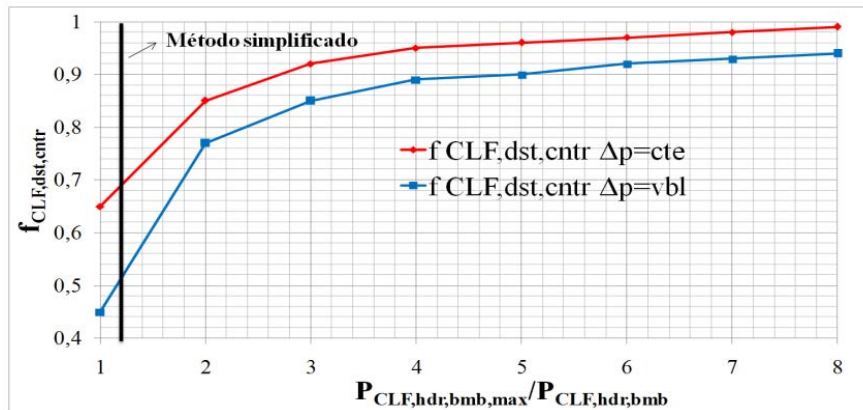
$P_{CLF,hdr,bmb}$  Potencia eléctrica real de la bomba (W). Punto 3 en la imagen 5.10.

$P_{CLF,hdr,dsñ,bmb}$  Potencia eléctrica de referencia de la bomba, punto 2 en la imagen 5.10, obtenida a través de la potencia hidráulica en el punto de diseño, punto 1 en la imagen 5.10 (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 5.10.

**FACTOR DE CORRECCIÓN PARA EL 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 (bombas a velocidad constante) vale uno  $f_{CLF,dst,ctr} = 1$  y para bombas controladas hay que obtenerlo de la siguiente imagen en función del control de la velocidad de la bomba sea a presión diferencial constante ( $\Delta p = cte$ ) o variable ( $\Delta p = vbl$ ).



**Imagen 5.11:** Factor de corrección para el control de la bomba. Si no se tienen datos se toma  $P_{CLF,hdr,max,bmb}/P_{CLF,hdr,bmb} = 1,1$ ;  $\Delta p=cte$   $f_{CLF,dst,centr}=0,68$ ,  $\Delta p=vbl$   $f_{CLF,dst,centr}=0,52$ .

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

La regulación manteniendo la presión diferencial constante (parte superior izquierda de la imagen 5.12), 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, fancoils, 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 derecha) de ejemplo en la figura siguiente.

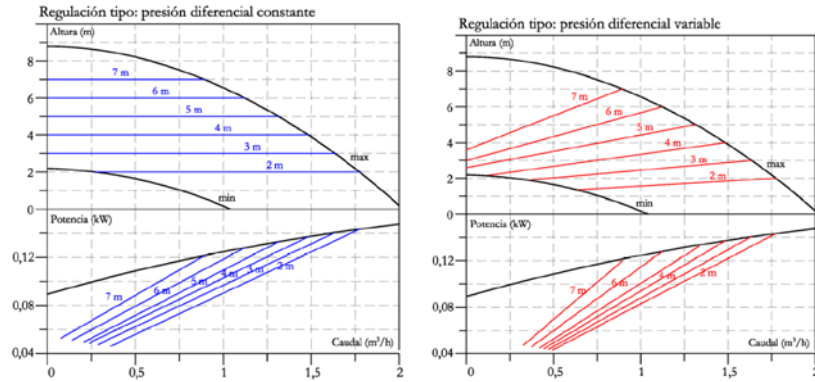


Imagen 5.12: Diferentes controles para las bombas de circulación

**FACTOR DE CORRECCIÓN PARA LA CARGA PARCIAL  $f_{CLF,dst,FCP}$**

El factor de corrección para carga parcial  $f_{CLF,dst,fcp}$  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  $\beta_{CLF,dst}$ . Muy significativo para valores de  $\beta_{CLF,dst}$  menores de 0,5.

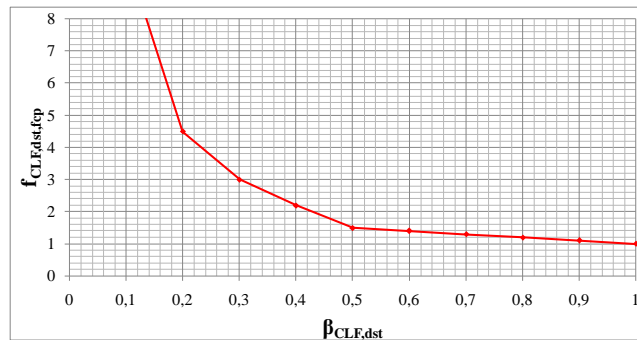


Imagen 5.13: Factor de corrección para carga parcial

**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 5.10) y la potencia hidráulica en el punto de diseño ( $P_{CLF,hdr,dst,\eta}$ ):

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

**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 5.10) y la potencia de entrada de referencia en el punto de diseño ( $P_{CLF,hdr,dst,\eta,bmb}$  ver imagen 5.10):

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

donde

- b Factor adimensional: 1 edificios nuevos y 2 existentes

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

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

donde

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

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

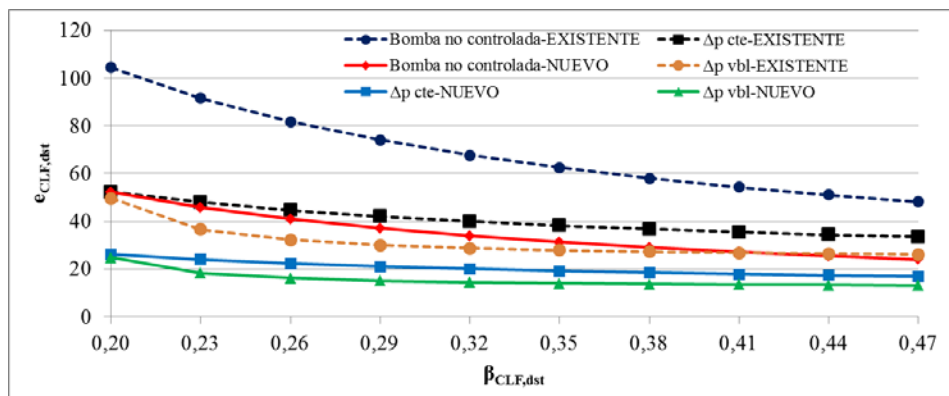
Control de bomba		$C_{p1}$	$C_{p2}$
Bomba no controlada		0,25	0,75
$\Delta p_{cte}$		0,75	0,25
$\Delta p_{vrb}$		0,90	0,10

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

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

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

Si se representa la ecuación 5-33 para edificios nuevos y edificios existentes (fijada la  $P_{CLF,hdr,ds\bar{n}}$  en 3,61 W) se observa que para ambos tipos de edificios el nivel de control de la bomba es sensible para valores de  $\beta_{CLF,dst}$  menores de 0,5. 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). Evidentemente  $e_{CLF,dst}$  es menor para valores menores de la carga parcial media del subsistema de distribución  $\beta_{CLF,dst}$ .



**Imagen 5.14:** Factor de energía consumida  $e_{CLF,dst}$  con  $P_{CLF,hdr,ds\bar{n}} = 3,61$  W

Variando ahora  $P_{CLF,hdr,ds\bar{n}}$  y fijando los demás valores ( control de bomba en edificio nuevo por control de presión diferencial variable) se comprueba que el valor  $e_{CLF,dst}$  aumenta a medida que disminuye  $P_{CLF,hdr,ds\bar{n}}$ .

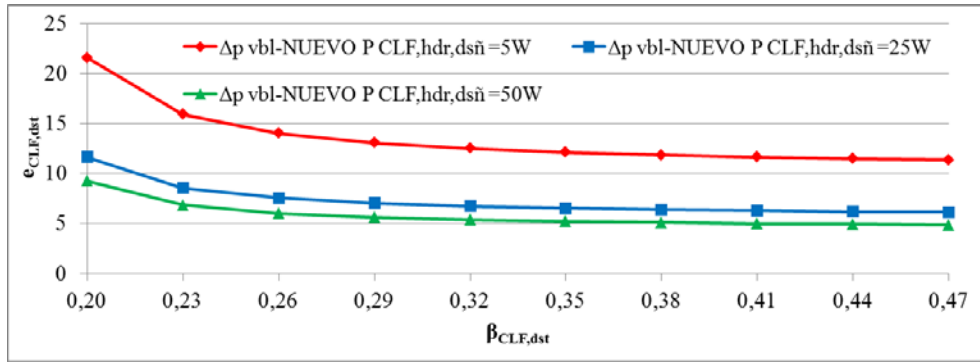


Imagen 5.15: Factor de energía consumida  $e_{CLF,dst}$  en función de  $P_{CLF,hdr,dst}$

### 5.2.1.1. Funcionamiento intermitente

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 están trabajando en régimen continuo (la bomba arranca y para durante el periodo de cálculo). Se distinguen tres fases diferentes para el funcionamiento intermitente:

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

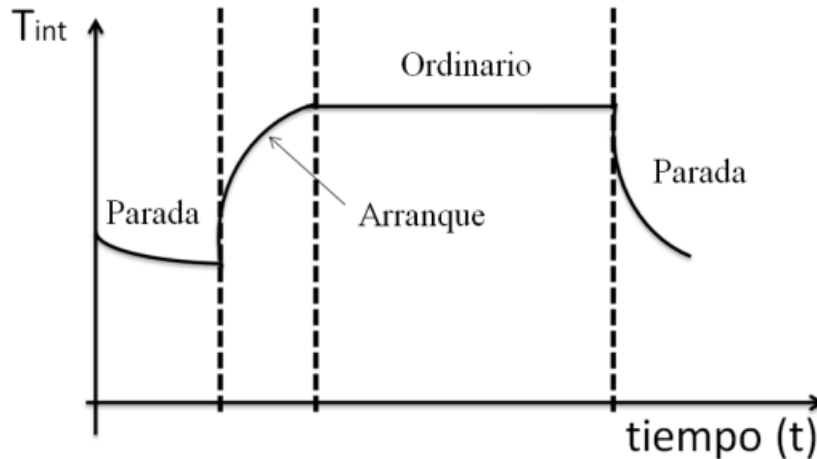


Imagen 5.16: Funcionamiento intermitente

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

$$W_{CLF,dst,aux,int} = W_{CLF,dst,aux,ord} + W_{CLF,dst,aux,arm} + W_{CLF,dst,aux,prd} \quad 5-35$$

Para el **periodo ordinario** de funcionamiento, el consumo de energía auxiliar se determina mediante la fórmula 5-23 multiplicada por un factor de tiempo para el tiempo proporcional del funcionamiento en modo ordinario,  $k_{CLF,ord}$ :

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

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

- La bomba se apaga totalmente, 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 a su velocidad mínima. 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 parada:

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

Para el **periodo de arranque**, la potencia es igual a la potencia eléctrica en el punto de diseño  $P_{CLF,hdr,dst,bmb}$  y por tanto la energía auxiliar se determina multiplicando por un factor de tiempo para el tiempo proporcional de funcionamiento en el modo de arranque,  $k_{CLF,arm}$ :

$$W_{CLF,dst,aux,arm} = \frac{k_{CLF,arm} \cdot P_{CLF,hdr,dst,bmb}}{1.000} \cdot t_{CLF,ON-OFF} \quad 5-38$$

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):

$$k_{CLF,ord} = \frac{t_{CLF,ord,i} \Big|_{i=día,semana,año}}{t_{CLF,ON-OFF,i} \Big|_{i=día,semana,año}} \quad 5-39$$

El factor de tiempo en modo de arranque,  $k_{CLF,arm}$ , 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:

$$k_{CLF,arm} = \frac{t_{CLF,arm,i} \Big|_{i=día,semana,año}}{t_{CLF,ON-OFF,i} \Big|_{i=día,semana,año}} \approx 0,03 \quad 5-40$$

El factor de tiempo en modo parada,  $k_{CLF,prd}$ , 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  $k_{CLF,arm}$  y  $k_{CLF,ord}$ :

$$k_{CLF,prd} = 1 - k_{CLF,ord} - k_{CLF,arm} \quad 5-41$$

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

$$W_{CLF,dst,aux,int r} = W_{CLF,dst,aux} \cdot (k_{CLF,ord} + 0,6 \cdot k_{CLF,prd} + 0,03) \quad 5-42$$

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

### 5.2.1.2. Valores tabulados

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/m<sup>2</sup> (edificios nuevos)
- $A_{zon}$  m<sup>2</sup> de la zona calentada (1 bomba para un máximo de 1.000 m<sup>2</sup> 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:  $n_{pln}=A_{zon}/(L_{lrg} L_{anch})$
- Altura de la planta  $h_{pln}=3$  m

**Tabla 5.26:** Demanda de energía auxiliar anual, método de cálculo tabulado

<b>Demanda de energía auxiliar anual, <math>W_{dst,aux,anl}</math> (kWh/año) (<math>t_{CLF,ON-OFF,anl}= 5.000</math> h de calefacción)</b>						
<b>Sistema de dos tuberías con radiadores (<math>V_{gr,dst} [=] m^3/h</math>)</b>						
$A_{zon}(m^2)$	<b>Generadores con un contenido de agua mayor de 0,3 l/kW</b> $\Delta p_{CLF,gr}=1$ kPa			<b>Generadores con un contenido de agua menor de 0,3 l/kW</b> $\Delta p_{CLF,gr}=20V_{gr,dst}^2$ ( $\Phi_{gr,max}<35$ kW) ó 80 kPa		
	<b>no controlada</b>	$\Delta p_{cte}$	$\Delta p_{vrb}$	<b>no controlada</b>	$\Delta p_{cte}$	$\Delta p_{vrb}$
<b>100</b>	99	64	53	105	68	57
<b>150</b>	126	82	68	151	98	82
<b>200</b>	151	98	82	206	134	112
<b>300</b>	196	127	106	349	226	189
<b>400</b>	238	154	129	544	352	294
<b>500</b>	278	180	150	799	517	432
<b>600</b>	316	205	171	915	592	495
<b>700</b>	354	229	192	1.021	661	553
<b>800</b>	391	253	211	1.125	728	609
<b>900</b>	427	276	231	1.226	794	664
<b>1.000</b>	463	299	250	1.326	858	718
<b>Sistema de dos tuberías suelo radiante</b>						
$A_{zon}(m^2)$	<b>no controlada</b>	$\Delta p_{cte}$	$\Delta p_{vrb}$	<b>no controlada</b>	$\Delta p_{cte}$	$\Delta p_{vrb}$
<b>100</b>	193	125	105	198	128	107
<b>150</b>	246	159	133	263	170	142
<b>200</b>	294	190	159	333	215	180
<b>300</b>	379	245	205	497	322	269
<b>400</b>	458	296	248	709	459	384
<b>500</b>	532	344	288	979	634	530
<b>600</b>	602	390	326	1.122	726	607
<b>700</b>	671	434	363	1.254	812	679
<b>800</b>	738	477	399	1.384	895	749
<b>900</b>	803	520	435	1.510	977	817
<b>1.000</b>	867	561	469	1.635	1.058	885
<b>Sistema de una tuberías con radiadores</b>						
$A_{zon}(m^2)$	<b>no controlada</b>	$\Delta p_{cte}$	$\Delta p_{vrb}$	<b>no controlada</b>	$\Delta p_{cte}$	$\Delta p_{vrb}$
<b>100</b>	109	-	-	115	-	-
<b>150</b>	141	-	-	164	-	-
<b>200</b>	170	-	-	222	-	-
<b>300</b>	224	-	-	369	-	-
<b>400</b>	274	-	-	568	-	-
<b>500</b>	323	-	-	827	-	-
<b>600</b>	370	-	-	950	-	-
<b>700</b>	417	-	-	1.063	-	-
<b>800</b>	463	-	-	1.174	-	-
<b>900</b>	509	-	-	1.283	-	-
<b>1.000</b>	554	-	-	1.390	-	-

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:



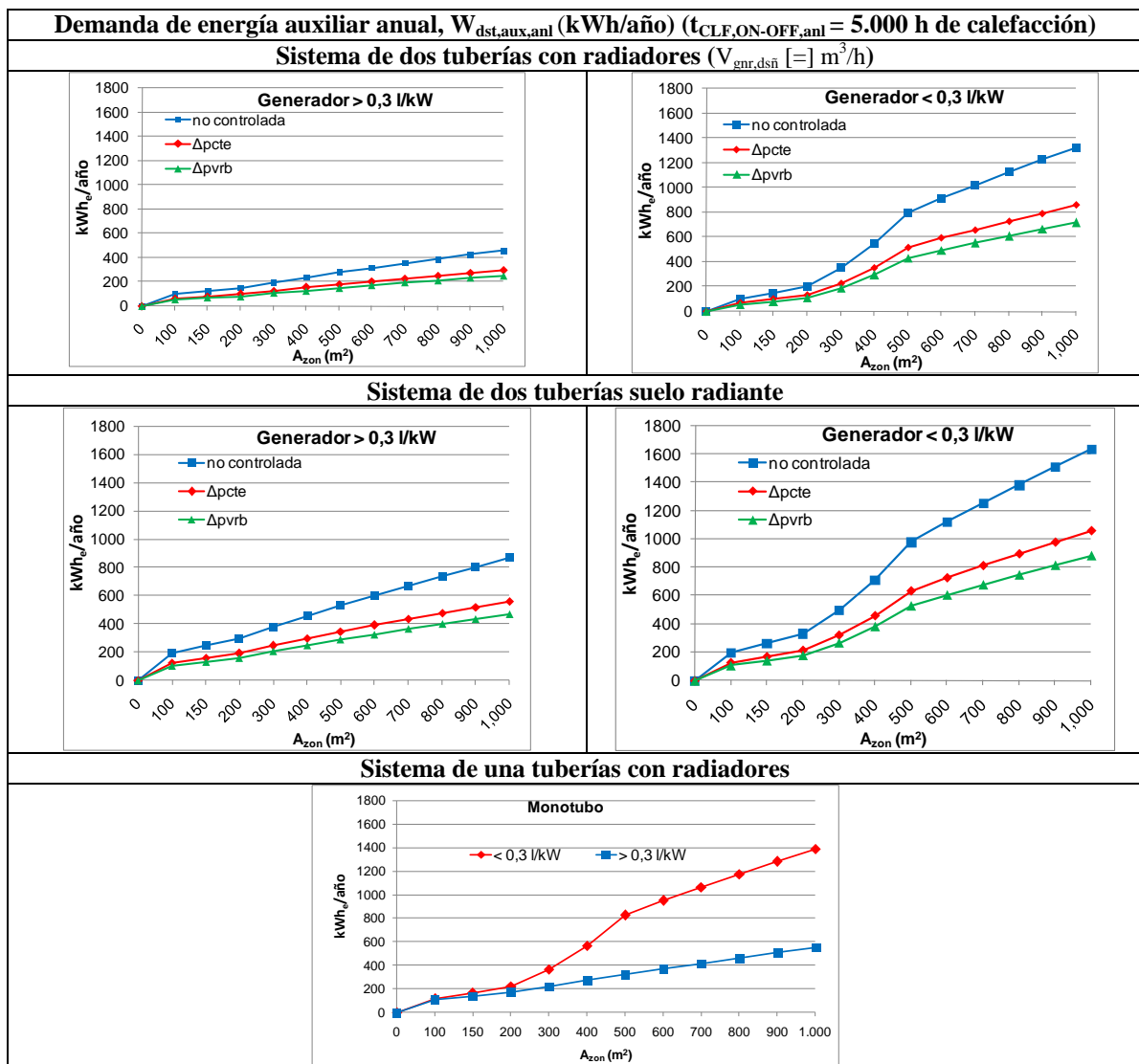
- Modo ordinario de 06:00–22:00 h todos los días y modo de reinicio durante el tiempo restante:  $f_{CLF,dst,intr} = 0,87$ .
- Si la bomba está apagada durante el modo de reinicio:  $f_{CLF,dst,intr} = 0,69$ .
- Modo ordinario de 06:00–22:00 h de lunes a viernes y modo de reinicio durante el tiempo restante: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

Si se representaran gráficamente los valores de la anterior tabla se vería que para una misma superficie de zona calefactada los generadores con pequeño volumen de agua ( $< 0,3 \text{ l/kW}$ ) el consumo de energía eléctrica de la bomba de circulación es más elevado que para generadores mayores independientemente del control de la bomba.

También se puede observar que a igualdad de todas las condiciones los sistemas monotubo ocasionan los mayores consumos energéticos a la bomba de circulación, a continuación están los elementos con suelo radiante y en último lugar los radiadores bitubo.

Qué duda cabe que cuanto más sensible sea el control de la bomba para modificar su estado en función de la demanda hidráulica menor será el consumo para cualquier sistema.

**Tabla 5.27:** Gráficos demanda de energía auxiliar anual,  $W_{dst,aux,ani}$  (kWh/año)



### 5.2.1.3. Energía auxiliar recuperable

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:

$$Q_{CLF,dst,aux,rcr} = f_{CLF,aux,rcp} \cdot W_{CLF,dst,aux} \quad 5-43$$

Energía recuperable para la calefacción del local:

$$Q_{CLF,dst,aux,rcp} = (1 - f_{CLF,aux,rcp}) \cdot W_{CLF,dst,aux} \quad 5-44$$

donde  $f_{CLF,aux,rcp}$  es el factor de energía auxiliar recuperable, 0,90 bomba con aislamiento y 0,75 bomba sin aislamiento (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. 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  $j$  ( $Q_{CLF,dst,prd}$ ) en un periodo de tiempo (Wh) vienen dadas por:

$$Q_{CLF,dst,prd} = \sum_j \psi_j \cdot (T_{CLF,dst,med}(\beta_{CLF,dst}) - T_{alr,j}) \cdot L_{CLF,j} \cdot t_{CLF,ON-OFF} \quad 5-45$$

donde

- $\Psi$  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:

$$Q_{CLF,dst,prd} = \sum_j q_{CLF,dst,prd,j} \cdot L_{CLF,j} \cdot t_{CLF,ON-OFF} \quad 5-46$$

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

$$q_{CLF,dst,prd,j} = \psi_j \cdot (T_{CLF,dst,med}(\beta_{CLF,dst}) - T_{alr,j}) \quad 5-47$$

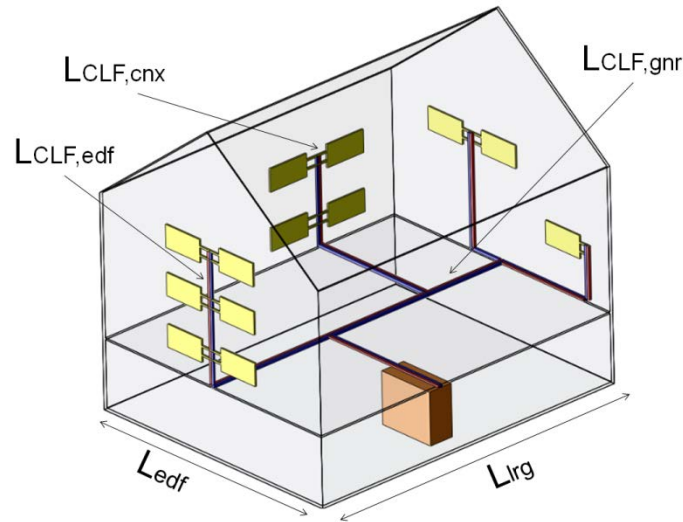
Lo habitual es que las tuberías del subsistema de distribución discurren por solo dos tipos de locales, calefactados (zonas interiores) o zonas no calefactadas (cuartos técnicos, guardillas, trasteros, exterior del edificio...).

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

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

$$q_{CLF,dst,prd,no\,clf} = \Psi_{no\,clf,k} \cdot (T_{CLF,dst,med}(\beta_{CLF,dst}) - T_{alr,k}) \quad 5-49$$

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:



**Imagen 5.17:** Aproximaciones de las longitudes de las tuberías

- $L_{CLF,gnr}$  Longitud de la tubería entre el generador y los ejes verticales. Estas tuberías (horizontales) pueden estar en locales no calentados (sótanos, áticos, garajes) o en locales calentados. Solo en sistemas centrales.
- $L_{CLF,edf}$  Longitud de la tubería en los ejes verticales. Estas tuberías están en paredes exteriores o en el interior del edificio (patinillos, cuartos técnicos). Solo en sistemas centrales.
- $L_{CLF,cnx}$  Longitud de las tuberías de conexión. Estas tuberías discurren desde la general, si existe  $L_{CLF,edf}$  o desde el generador 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 dos siguientes tablas:

**Tabla 5.28:** Aproximación de las longitudes de las tuberías (sistemas de calefacción bitubo)

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	pared exterior	$L_{CLF,j}$	$2L_{lrg} + 0,01625L_{lrg}L_{anch}^2$	$0,025L_{lrg}L_{anch}h_{pln}n_{pln}$	$0,55L_{lrg}L_{anch}n_{pln}$
	dentro edificio	$L_{CLF,j}$	$2L_{lrg} + 0,0325L_{lrg}L_{anch} + 6$		

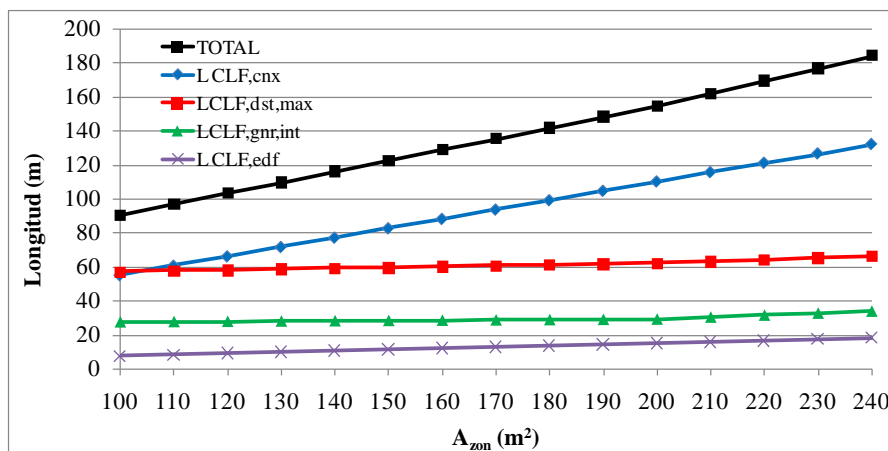
\* Depende de si la caldera esta en el exterior (13°C) o interior (20°C)

**Tabla 5.29:** Aproximación de la longitud de la tubería (sistemas de calefacción monotubo)

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

La suma de estas longitudes es diferente a la obtenida en la ecuación 5.28 (longitud máxima del circuito de calefacción  $L_{CLF,dst,max}$ ) que corresponde con el tramo más desfavorable ( mayor pérdida de carga que tiene que vencer la bomba de circulación) de toda la red de distribución de tuberías.

Se representa a continuación todos estos valores para el caso de un edificio de 2 alturas ( $n_{pln} = 2$ ), con una altura entre plantas de 3 metros ( $h_{pln}=3$ ) y una longitud del lado largo de la superficie de la sección de la planta de 10 m ( $L_{lrg}=10m$ ) en función del área de la zona ( $A_{zon}$ ) acondicionada.



**Imagen 5.18:** Representación longitudes de las tuberías  $TOTAL = L_{CLF,gnr}+L_{CLF,edf}+L_{CLF,cnx}$

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.

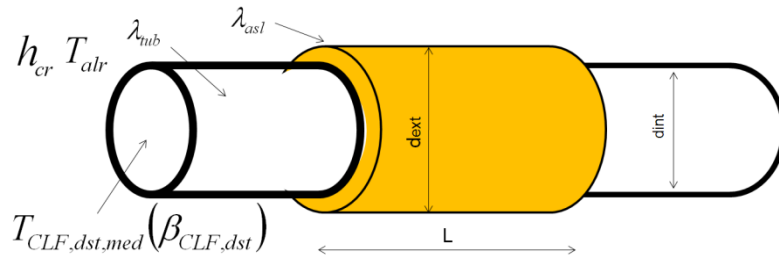
Para tener en cuenta las pérdidas térmicas de los soportes, puede utilizarse como una aproximación una longitud de tubería adicional del 15%. Si se utilizan soportes para tubería aislados especialmente, con resistencia térmica igual a la del aislamiento de la tubería, las pérdidas térmicas adicionales 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:

**Tabla 5.30:** Longitud equivalente (m) de las válvulas (el de todas las válvulas no por válvula)

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

Para estimar el cálculo 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 del material de la tubería y los coeficientes de convección y radiación considerados.



**Imagen 5.19:** Parámetros para el cálculo de la transmitancia térmica lineal para tuberías

Para 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 dada por (despreciando la resistencia térmica debida a la convección interior):

$$\Psi_{CLF,asl} = \frac{\pi}{\left( \frac{1}{2 \cdot \lambda_{asl}} \cdot \ln \frac{d_{int}}{d_{ext}} + \frac{1}{h_{cr} \cdot d_{int}} \right)} \quad 5-50$$

donde

- $d_{int}$ ,  $d_{ext}$  Diámetro interior (sin aislamiento), exterior (con aislamiento) (m)
- $h_{cr}$  Coeficiente de transferencia de calor de la superficie total exterior (convección y radiación) ( $W/m^2K$ ). Si no se conoce el dato puede tomarse 8 para tuberías aisladas y 14 para no aisladas. En el anexo IV *Exigencias legislativas en aislamiento en tuberías* hay una descripción de cómo se obtendría este valor.
- $\lambda_{asl}$  Conductividad térmica del aislamiento (material) ( $W/mK$ ). Consultar el Catálogo de Elementos Constructivos del Código Técnico de la Edificación [5.33].

El RITE [5.30] define el nivel de aislamiento (espesor mínimo) del tubo en función de la temperatura interior de diseño y de esta forma determinar la transmitancia térmica lineal para tuberías aisladas<sup>62</sup>.

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

$$\Psi_{CLF,emp} = \frac{\pi}{\frac{1}{2} \left( \frac{1}{\lambda_{asl}} \cdot \ln \frac{d_{int}}{d_{ext}} + \frac{1}{\lambda_{emp}} \cdot \ln \frac{4 \cdot Z}{d_{int}} \right)} \quad 5-51$$

donde

- $Z$  Profundidad de la tubería desde la superficie
- $\lambda_{emp}$  Conductividad térmica del material empotrado ( $W/mK$ ). Consultar el Catálogo de Elementos Constructivos del Código Técnico de la Edificación [5.33].

Para tuberías no aisladas la transmitancia térmica  $\Psi_{CLF,no\ asl}$  viene dada por:

$$\Psi_{CLF,no\ asl} = \frac{\pi}{\left( \frac{1}{2 \cdot \lambda_{nub}} \cdot \ln \frac{d_{int}}{d_{ext}} + \frac{1}{h_{cr} \cdot d_{int}} \right)} \approx h_{cr} \cdot \pi \cdot d_{int} \quad 5-52$$

donde

<sup>62</sup> En el anexo IV se adaptan los valores mínimos de aislamiento en España a valores de transmitancia térmica lineal para a su adaptación a la formulación mostrada en las normas CEN.

- $\lambda_{tub}$  Conductividad térmica de la tubería (material) (W/mK). Ver tabla 16.1 anexo IV.

Estos valores transmitancia térmica lineal si no son conocidos la norma 15316 [5.2] propone tomarse los de la siguiente tabla.

**Tabla 5.31:** Valores por defecto de  $\Psi$  para edificios nuevos y existentes propuestos por la norma CEN

$\Psi$ (W/mK)		Tipo de tubería	
		$L_{CLF,gnr}$	$L_{CLF,edf}$
Año de construcción			
Desde 1995	Espesor del aislamiento es aproximadamente igual al diámetro externo de la tubería	0,2	0,3
De 1980 a 1995	Espesor del aislamiento es aproximadamente igual a la mitad diámetro externo de la tubería	0,3	0,4
Antes de 1980	Sin aislar	0,4	

### 5.2.2.1. Valores tabulados

La norma 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:

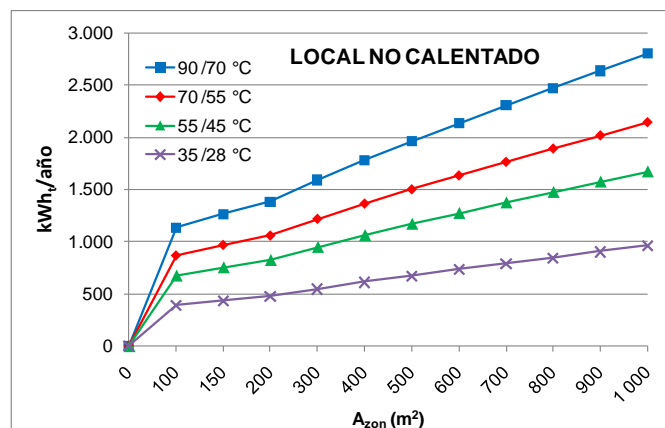
- Carga parcial media de distribución  $\beta_{CLF,dst}=0,4$ .
- Horas de calefacción  $t_{CLF,ON-OFF,año} = 5.000$  h al año.
- Carga térmica de diseño  $\Phi_{CLF,ems,sld} = 40$  W/m<sup>2</sup> (edificios nuevos).
- $A_{zon}$  m<sup>2</sup> de la zona calentada (1 bomba para un máximo de 1.000 m<sup>2</sup> 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:  $n_{pln}=A_{zon}/(L_{lrg}L_{anch})$ .
- Altura de la planta  $h_{pln}=3$ m.
- Valor  $\Psi$  para tuberías de parte del generador ( $L_{CLF,gnr}$ ) del sistema de distribución, en locales no calentados  $\Psi_{no\ cif}=0,2$  W/mK.
- Valor  $\Psi$  para ejes y tuberías de conexión ( $L_{CLF,cnx}$ ) del sistema de distribución, en locales calentados  $\Psi_{cif}=0,255$  W/mK.
- Ejes dentro de la zona.

**Tabla 5.32:** Pérdida térmica anual del sistema en kWh/año a la temperatura de diseño

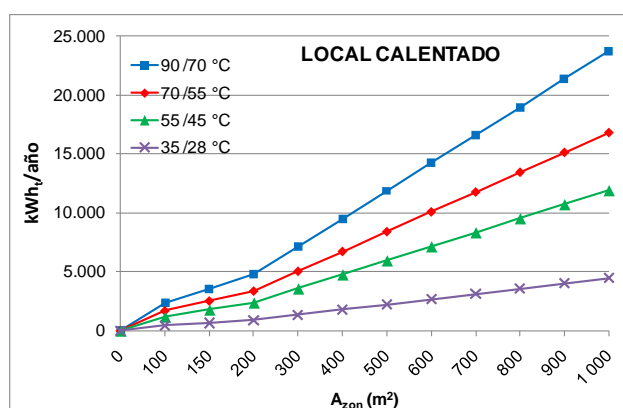
Área calentada $A_{zon}$ (m <sup>2</sup> )	Pérdida térmica anual del sistema en kWh/año ( $t_{CLE,ON-OFF,año}=5.000$ h de calefacción)							
	Temperatura de diseño (impulsión/retorno)							
	90 /70 °C		70 /55 °C		55 /45 °C		35 /28 °C	
	LOCAL CALENTADO							
	NO	SI	NO	SI	NO	SI	NO	SI
100	1.133	2.375	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

La representación gráfica de los anteriores valores corresponde con las imágenes 5.20 (para locales no calentados) y 5.21 (locales calentados). Las pérdidas en locales calentados no son sensibles en el cálculo de pérdidas energéticas del edificio, aunque su valor es mucho mayor para la misma área calentada (mayor longitud de tuberías) porque todas son recuperadas.

En cualquier caso cuanto mayor sea la temperatura de distribución mayor serán las pérdidas energéticas del subsistema.



**Imagen 5.20:** Pérdidas térmicas no recuperables en el subsistema de distribución



**Imagen 5.21:** Pérdidas térmicas recuperadas en el subsistema de distribución

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 recuperable y no recuperable

En recintos calentados, las pérdidas térmicas de las tuberías pueden ser recuperadas para el calentamiento del local y se consideran recuperadas en su totalidad. 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:

$$Q_{CLF,dst,prd,rcb} = \sum_j q_{CLF,dst,prd,clf,j} \cdot L_{CLF,clf,j} \cdot t_{CLF,ON-OFF} = Q_{CLF,dst,prd,rcp} \quad 5-53$$

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:

$$Q_{CLF,dst,prd,no\ rcb} = \sum_j q_{CLF,dst,prd,no\ clf} \cdot L_{CLF,no\ clf} \cdot t_{CLF,ON-OFF} \quad 5-54$$

La pérdida térmica total del sistema viene dada por (valor que debe de coincidir evidentemente con la ecuación 5-47):

$$Q_{CLF,dst,prd} = Q_{CLF,dst,prd,rcb} + Q_{CLF,dst,prd,no\ rcb} \quad 5-55$$

### 5.2.3. Temperaturas de trabajo medias

Se pueden presentar tres casos para al cálculo de la temperatura media del subsistema de distribución dependiendo de la carga parcial media y temperatura de trabajo del emisor:

1. Temperatura impulsión variable en el emisor (caudal constante en el subsistema de distribución).
2. Temperatura de impulsión fija en el emisor (caudal variable en el subsistema de distribución).
3. Funcionamiento encendido-apagado (control termostático del recinto).

Si el emisor trabaja con una **temperatura de impulsión variable** (funcion de la temperatura exterior), la temperatura de impulsión ( $T_{ems,imp,med}$ ), retorno ( $T_{ems,rtr,med}$ ) y media del subsistema de emisión ( $T_{ems,med}$ ) se expresan como funciones de la carga parcial media de distribución en cada subsistema de distribución (zona). Las temperaturas medias del subsistema de distribución coinciden con las temperaturas medias del subsistema de emisión (emisores conectados directamente al generador).

$$T_{CLF,dst,med}(\beta_{CLF,dst}) = T_{ems,med}(\beta_{CLF,dst}) = \Delta T_{CLF,ems,dst} \cdot \beta_{CLF,dst}^{1/n} + T_{int} \quad 5-56$$

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

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

donde

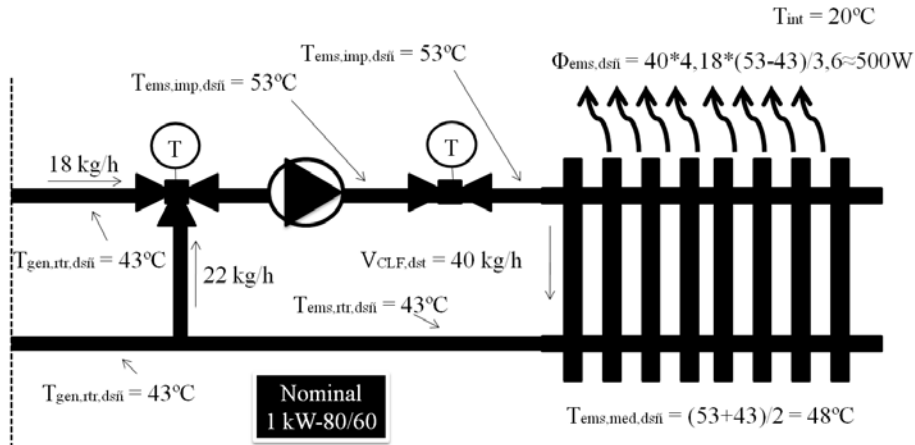
- $\Delta T_{CLF,ems,dst}$  Diferencia de temperatura en °C entre la temperatura media de diseño del sistema de emisión y la temperatura del recinto

$$\Delta T_{CLF,ems,dst} = \frac{T_{ems,imp,dst} + T_{ems,rtr,dst}}{2} - T_{int} \quad 5-59$$



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

Si el subsistema de emisión está conectado a través de válvula de tres vías (mezcladora) con el subsistema de distribución (típico para sistemas centrales de calefacción) las temperaturas medias del subsistema de distribución también coinciden con las temperaturas medias del subsistema de emisión



**Imagen 5.22:** Caudal constante y temperatura de impulsión variable. Condiciones de diseño (válvula mezcladora)

$$T_{CLF,dst,med}(\beta_{CLF,dst}) = T_{ems,med}(\beta_{CLF,dst}) \quad 5-60$$

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

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

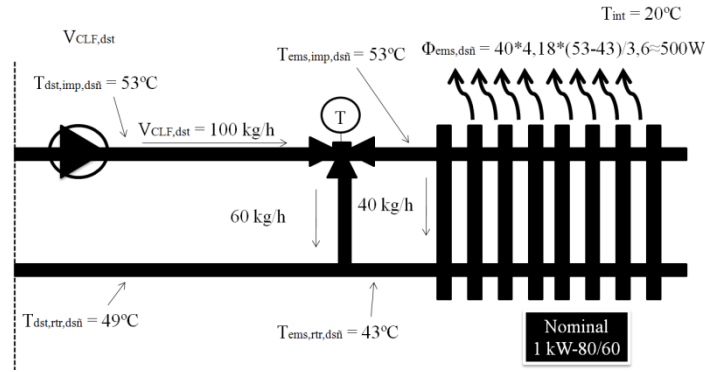
Si el emisor trabaja con una **temperatura de impulsión fija** (válvulas termostáticas, dos vías), la temperatura de impulsión ( $T_{ems,imp,med}$ ), retorno ( $T_{ems,rtr,med}$ ) y media del subsistema de emisión ( $T_{ems,med}$ ) se expresan como funciones de la carga parcial media de distribución en cada subsistema de distribución (zona). Las temperaturas medias del subsistema de distribución coinciden con las temperaturas medias del subsistema de emisión (emisores conectados directamente al generador).

$$T_{CLF,dst,med}(\beta_{CLF,dst}) = T_{ems,med}(\beta_{CLF,dst}) = \Delta T_{CLF,ems,dstñ} \cdot \beta_{CLF,dst}^{1/n} + T_{int} \quad 5-63$$

$$T_{CLF,dst,imp,med}(\beta_{CLF,dst}) = T_{ems,imp,med}(\beta_{CLF,dst}) = T_{ems,imp,dstñ} \text{ (fijada)} \quad 5-64$$

$$T_{CLF,dst,rtr,med}(\beta_{CLF,dst}) = T_{ems,rtr,med}(\beta_{CLF,dst}) = \max [2 \cdot T_{ems,med}(\beta_{CLF,dst}) - T_{ems,imp,med}(\beta_{CLF,dst}); T_{int}] \quad 5-65$$

Si los subsistemas de emisión están conectados con válvula de tres vías (desviadora) con el subsistema de distribución (típico en la conexión de intercambiadores de calor en climatizadoras) las pérdidas en la distribución de red aumentan cuando el poder emisor se reduce.



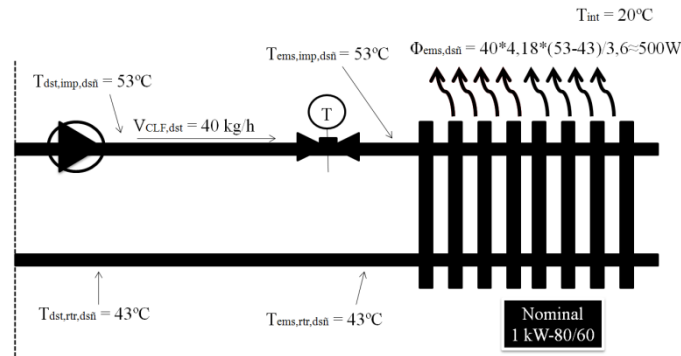
**Imagen 5.23:** Caudal variable y temperatura de impulsión fija (válvula desviadora)

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

$$T_{CLF,dst,rtr,med}(\beta_{CLF,dst}) = T_{CLF,dst,imp,med}(\beta_{CLF,dst}) - \frac{\phi_{CLF,dst,ent} \cdot 0,86}{V_{CLF,dst}} \geq T_{ems,rtr,med}(\beta_{CLF,dst}) \quad 5-66$$

donde  $V_{CLF,dst}$  es el caudal del circuito de distribución, o el valor de diseño o el valor de consigna. La temperatura de impulsión del circuito de distribución es la misma que la del emisor de calor (ecuación 5-64). Con estas dos ecuaciones (5-64 y 5-66) se obtiene  $T_{CLF,dst,med} = (T_{CLF,imp,med} + T_{CLF,rtr,med})/2$

En el caso de **control de encendido-apagado** con termostato en el recinto, las condiciones de funcionamiento son las mismas que las condiciones de diseño<sup>63</sup>, lo que significa



**Imagen 5.24:** Control termostático

$$T_{CLF,dst,med}(\beta_{CLF,dst}) = T_{ems,med}(\beta_{CLF,dst}) = T_{ems,med,dst} = \frac{T_{ems,imp,dst} + T_{ems,imp,rtr}}{2} \quad 5-67$$

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

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

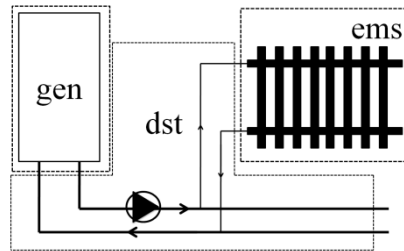
La distribución de temperatura en la red es la misma que la temperatura en emisores. El caudal en la red de distribución es el mismo que en los emisores.

<sup>63</sup> Las condiciones de diseño pueden variar de acuerdo con el intervalo de cálculo.

### 5.3. Calderas

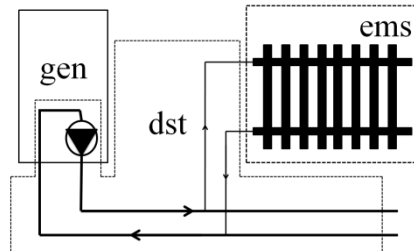
Dentro de la norma 15316-4 se abordan todos los sistemas de generación térmica que puedan instalarse en un edificio. Atendiendo al contexto de esta tesis doctoral se abordan sólo la generación de calor por combustión (calderas) [5.10 y 5.11] y el aprovechamiento de la energía térmica por paneles solares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

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 sólo 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 5.25)



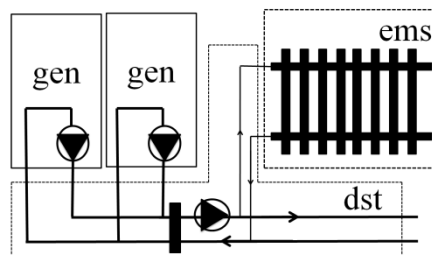
**Imagen 5.25:** Subsistema de generación incluye sólo el generador

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 5.26)



**Imagen 5.26:** Bomba físicamente dentro de la caldera

Sólo 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 5.27:** Bombas dedicadas a los requisitos del generador

La norma 15316 4-1 [5.10] plantea tres métodos de cálculo que difieren en:

- 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 Calderas<sup>64</sup>[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 explícitamente de acuerdo con las condiciones de operación.

### 5.3.1. 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 y la energía auxiliar recuperable

Para aclarar este procedimiento se expone<sup>65</sup> la metodología para determinar la eficiencia estacional de calderas de combustible gaseoso y líquido instaladas en el sector de la vivienda de Reino Unido [5.15]<sup>66</sup> y que se utiliza para estimar el rendimiento medio estacional del subsistema de generación en uno de los anexos.

---

<sup>64</sup> Actualmente en revisión. ISO/TC 205 Heating and cooling systems in buildings. Method and design for calculation of the system energy performance. Combustión systems (boilers)

<sup>65</sup> No puede utilizarse este método (se fijan muchas variables independientes) para España.

<sup>66</sup> Se denomina SEDB\_UK: Eficiencia estacional de calderas domésticas en Reino Unido.

### 5.3.2. Eficiencia del generador

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

- a) Los datos necesarios son para tres estados de carga o de potencia:
  - $\eta_{\text{gnr},P_n}$  eficiencia (rendimiento) a 100% carga del generador (caldera).
  - $\eta_{\text{gnr},P_{\text{int}}}$  eficiencia (rendimiento) a carga intermedia (30 % de la carga total).
  - $\Phi_{\text{gnr},\text{prd},P_0}$  pérdidas al 0% carga caldera parada
- b) Los datos de eficiencia y pérdidas se corrigen de acuerdo con las condiciones de operación real de la caldera (temperatura).
- c) La potencia de pérdida a carga 100%  $\Phi_{\text{gnr},\text{prd},P_n}$  y a carga intermedia  $\Phi_{\text{gnr},\text{prd},P_{\text{int}}}$  se calculan de acuerdo con las eficiencias corregidas
- d) 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
- e) La energía auxiliar se calcula teniendo en cuenta la potencia real de la caldera
- f) 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
- g) 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:

- $\Phi_{\text{gnr},P_n}$  Potencia de la caldera a plena carga  $P_n$  (kW).
- $\eta_{\text{gnr},P_n}$  Eficiencia (rendimiento) de la caldera a plena carga (-).
- $T_{\text{CLF},\text{gnr},\text{ens},P_n,\text{med}}$  Temperatura media del agua de la caldera en las condiciones de ensayo a plena carga ( $P_n$ ).
- $f_{\text{corr},P_n}$  Factor de corrección de eficiencia a plena carga (-).
- $\Phi_{\text{gnr},P_{\text{int}}}$  Potencia de la caldera a carga intermedia  $P_{\text{int}}$  (kW).
- $\eta_{\text{gnr},P_{\text{int}}}$  Eficiencia (rendimiento) de la caldera a carga intermedia  $P_{\text{int}}$  (-).
- $T_{\text{CLF},\text{gnr},\text{ens},P_{\text{int}},\text{med}}$  Temperatura media del agua de la caldera en las condiciones de ensayo a carga intermedia  $P_{\text{int}}$  (°C).
- $f_{\text{corr},P_{\text{int}}}$  Factor de corrección de eficiencia a carga intermedia  $P_{\text{int}}$  (-).
- $\Phi_{\text{gnr},\text{prd},P_0}$  Potencia térmica de pérdidas en espera a la diferencia de temperatura de ensayo  $\Delta T_{\text{CLF},\text{gnr},\text{ens},P_0}$ .
- $\Delta T_{\text{CLF},\text{gnr},\text{ens},P_0}$  Diferencia entre la temperatura media de la caldera y la temperatura de la sala de ensayo en las condiciones de ensayo.
- $P_{\text{aux},\text{gnr},P_n}$  Potencia eléctrica de los dispositivos auxiliares a plena carga (W).
- $P_{\text{aux},\text{gnr},P_{\text{int}}}$  Potencia eléctrica de los dispositivos auxiliares a carga intermedia (W).
- $P_{\text{aux},\text{gnr},P_0}$  Potencia eléctrica de los dispositivos auxiliares en espera (W).
- $T_{\text{CLF},\text{gnr},\text{mín}}$  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 prioridad<sup>67</sup>:

- a) Datos de 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)
- b) Datos por defecto del anexo nacional correspondiente
- c) 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.
- $T_{CLF,gnr,rr,med}$  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:

$$\phi_{CLF,gen,sld} = \phi_{gnr,Pn} \cdot \beta_{CLF,gen} = \frac{Q_{CLF,gen,sld}}{t_{CLF,ON-OFF}} \Rightarrow \beta_{CLF,gen} = \frac{Q_{CLF,gen,sld}}{\phi_{gnr,Pn} \cdot t_{CLF,ON-OFF}} \quad 5-70$$

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

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 sólo hay instalado un generador, el factor de carga  $\beta_{CLF,gen}$  se calcula mediante

$$\beta_{CLF,gen} = \frac{\phi_{CLF,gen,sld}}{\phi_{gnr,Pn}} \quad 5-71$$

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

### 5.3.2.1. 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:

$$\beta_{CLF,gen} = \frac{\phi_{CLF,gen,sld}}{\sum_i \phi_{gnr,Pn,i}} \quad 5-72$$

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

<sup>67</sup>Debe registrarse si los valores de eficiencia incluyen la recuperación de energía auxiliar o no.

Si las calderas son con prioridad (funcionamiento en secuencia) las calderas con prioridad más alta funcionan primero. Una caldera dada, con un control con prioridad, funciona sólo 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

$$n_{CLF,gnr,ON} = ent \left( \frac{\phi_{CLF,gen,sld}}{\sum_i \phi_{gnr,Pn,i}} \right) \quad 5-73$$

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 para la caldera intermitente en funcionamiento se calcula mediante

$$\beta_{CLF,gen,j} = \frac{\phi_{CLF,gen,sld} - \sum_{i=1}^{n_{CLF,gnr,ON}} \phi_{gnr,Pn,i}}{\phi_{gnr,Pn,j}} \quad 5-74$$

donde

- $\Phi_{gnr,Pn,i}$  potencia nominal de la caldera  $i$  funcionando a plena carga ( $\beta_{CLF,ger,i}=1$ ).
- $\Phi_{gnr,Pn,j}$  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 mixto<sup>68</sup> 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:

$$Q_{ACS-CLF,gen,sld} = f_{cnt} \cdot Q_{CLF,dst,ent} + Q_{ACS,dst,ent} \quad 5-75$$

donde

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

<sup>68</sup>El periodo de cálculo considerado es el mismo para la producción de agua caliente sanitaria y para la calefacción de locales.

**Tabla 5.33:** Valores por defecto para el factor de corrección a plena carga  $f_{cnt}$

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

Sin embargo, si el agua caliente sanitaria se produce sólo durante modos de operación específicos (por ejemplo, sólo 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.

### 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 ( $W_{CLF,gnr,aux}$ ):

$$W_{CLF,gen,aux} = W_{CLF,gnr,aux} = P_{aux,gnr,P\beta} \cdot t_{CLF,ON,mns} + P_{aux,gnr,P0} \cdot (t_{CLF,ON-OFF,mns} - t_{CLF,ON,mns}) \quad 5-76$$

donde

- $P_{aux,gnr,OFF}$  Potencia auxiliar cuando la caldera está parada. Si la caldera está eléctricamente aislada cuando está inactiva,  $P_{aux,gnr,OFF} = 0$ . Si no,  $P_{aux,gnr,OFF} = P_{aux,gnr,P0}$
- $t_{CLF,ON,mns}$  Es el intervalo de cálculo con el generador encendido.
- $t_{CLF,ON-OFF,mns}$  Tiempo de operación del generador dentro del intervalo de cálculo  
 $t_{CLF,ON-OFF,mns}$
- $P_{aux,gnr,P\beta}$  Potencia auxiliar promedio. Se calcula mediante interpolación lineal, de acuerdo con la carga del subsistema de generación  $\beta_{CLF,gen}$  entre:
  - $P_{aux,gnr,Pn}$  Potencia auxiliar de la caldera a plena carga ( $\beta_{CLF,gen} = 1$ )
  - $P_{aux,gnr,Pint}$  Potencia auxiliar de la caldera a carga intermedia ( $\beta_{CLF,gen} = \beta_{CLF,int}$ )
  - $P_{aux,gnr,P0}$  Potencia auxiliar de la caldera en espera ( $\beta_{CLF,gen} = 0$ ), medidas de acuerdo con la norma UNE EN 15456[5.23].

Si no están disponibles datos declarados o medidos se dan valores por defecto a continuación para estas tres potencias

$$P_{aux,gnr,Pi|n,int,P0} = c_7 + c_8 \cdot \left( \frac{\phi_{Pn}}{1.000} \right)^n \quad 5-77$$



**Tabla 5.34:** Parámetros para el cálculo del consumo de energía de los equipos auxiliares

Tipo de caldera	Estado de carga	$c_7$ W	$c_8$ W	$n$
<b>Calderas de biomasa</b>				
Caldera central alimentada automáticamente con pellet <sup>1)</sup>	$P_{aux,gnr,Pn}$	40	2	1
	$P_{aux,gnr,Pint}$		1,8	
	$P_{aux,gnr,P0}$	15	0	0
Caldera central alimentada automáticamente con virutas de madera <sup>1)</sup>	$P_{aux,gnr,Pn}$	60	2,6	1
	$P_{aux,gnr,Pint}$	70	2,2	
	$P_{aux,gnr,P0}$	15	0	0
<b>Calderas estándar</b>				
Calderas de gas atmosféricas ( $B_{x1}$ )	$P_{aux,gnr,Pn}$	40	0,148	1
	$P_{aux,gnr,Pint}$			
	$P_{aux,gnr,P0}$	15	0	0
Calderas de calefacción con quemador de tiro forzado (combustible líquido o gaseoso)	$P_{aux,gnr,Pn}$	0	45	0,48
	$P_{aux,gnr,Pint}$		15	
	$P_{aux,gnr,P0}$	15	0	0
<b>Calderas de baja temperatura</b>				
Gas atmosféricas ( $B_{x1}$ )	$P_{aux,gnr,Pn}$	40	0,148	1
	$P_{aux,gnr,Pint}$			
	$P_{aux,gnr,P0}$	15	0	0
Quemador de tiro forzado (combustible líquido o gaseoso) y calentadores de ACS	$P_{aux,gnr,Pn}$	0	45	0,48
	$P_{aux,gnr,Pint}$		15	
	$P_{aux,gnr,P0}$	15	0	0
<b>Calderas de condensación</b>				
Calderas de condensación (combustible líquido o gaseoso)	$P_{aux,gnr,Pn}$	0	45	0,48
	$P_{aux,gnr,Pint}$		15	
	$P_{aux,gnr,P0}$	15	0	0

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

El análisis de la anterior tabla (valores por defecto para la potencia eléctrica de los generadores) muestra que para todos los generadores la potencia eléctrica en espera es de 15 W.

Para las potencias a plena carga y carga intermedia se observa en la anterior tabla que se pueden agrupar los generadores en los cuatro grupos siguientes:

- GRUPO 1: Alimentadas con astilla. Valores crecientes con potencia térmica de la caldera.
- GRUPO 2: Alimentadas con pellet. Valores crecientes con potencia térmica de la caldera pero siempre menores que en el anterior grupo.
- GRUPO 3: Tiro forzado (estándar y de baja temperatura) calentadores de ACS y condensación. Valores crecientes con la potencia térmica de la caldera. Mayores que los anteriores grupos para potencias térmicas bajas (menores de 200 kW) en el caso de la potencia a plena carga e inferiores siempre para potencia a carga intermedia.
- GRUPO 4: Atmosféricas (estándar y de baja temperatura), valores prácticamente constantes con la potencia térmica de la caldera y siempre menores que cualquiera de los tres grupos anteriores.

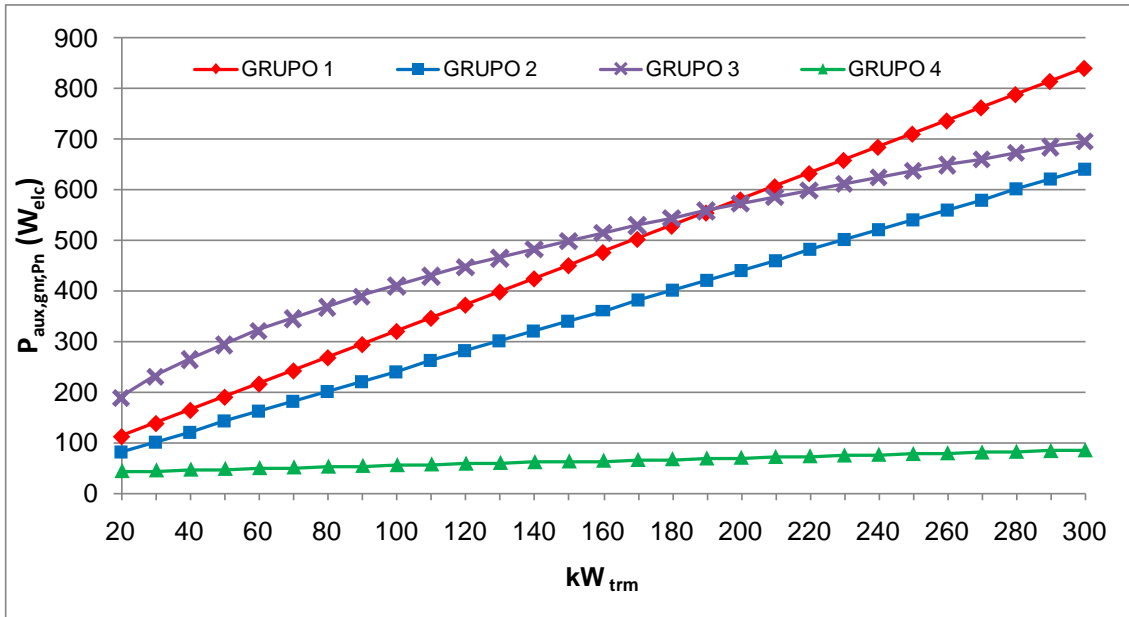


Imagen 5.28: Potencia eléctrica del generador a plena carga

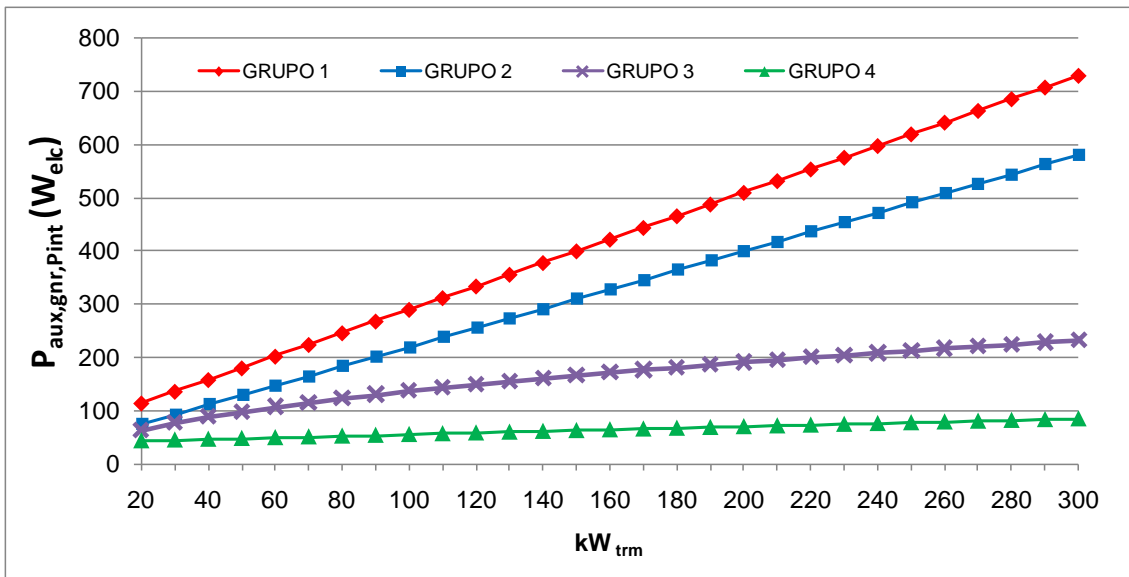


Imagen 5.29: Potencia eléctrica del generador a carga intermedia

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

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

$$P_{aux,gnr,P\beta} = P_{aux,gnr,Po} + \frac{\beta_{CLF,gen}}{\beta_{CLF,int}} \cdot (P_{aux,gnr,Pint} - P_{aux,gnr,Po}) \quad 5-78$$

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

$$P_{aux,gnr,P\beta} = P_{aux,gnr,Pint} + \frac{\beta_{CLF,gnr} - \beta_{CLF,int}}{1 - \beta_{CLF,int}} \cdot (P_{aux,gnr,Pn} - P_{aux,gnr,Pint}) \quad 5-79$$

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

$$W_{CLF,gen,aux} = \sum_i W_{gnr,aux,i} \quad 5-80$$

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:

$$Q_{CLF,gen,aux,rcp} = f_{CLF,gen,rcp,aux} \cdot W_{CLF,gen,aux} \quad 5-81$$

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

$$Q_{CLF,gen,aux,rcb} = f_{CLF,gen,rcb,aux} \cdot W_{CLF,gen,aux} \cdot (1 - b_{lcl}) \quad 5-82$$

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.

**Tabla 5.35:** Factor de reducción de temperatura

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

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

$$Q_{CLF,gen,aux,rcb,rcp} = 0,8 \cdot Q_{CLF,gen,aux,rcb} \quad 5-83$$

#### 5.3.2.4. Pérdidas térmicas

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

$$Q_{CLF,gen,prd} = Q_{CLF,gnr,prd} = \Phi_{CLF,gnr,prd,P\beta} \cdot t_{CLF,ON} \quad 5-84$$

donde  $\Phi_{CLF,gnr,prd,P\beta}$  es la potencia térmica de pérdidas función del estado real medio de la caldera  $\Phi_{CLF,gnr,prd,P\beta}$  ( $\Phi_{CLF,gen,sld}$ ) ver imagen 5.30 y 5.31.

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

$$Q_{CLF,gen,prd} = \sum_i Q_{CLF,gnr,prd,i} \quad 5-85$$

Para obtener la potencia térmica de pérdidas en el estado real medio de la caldera  $\Phi_{CLF,gnr,prd,P\beta}$  ( $\Phi_{CLF,gen,sld}$ ) 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  $0 (\beta_{CLF,gen} = 0) < \Phi_{gnr,P\beta} < \Phi_{gnr,Pint}$  ( $\beta_{CLF,gen} = \beta_{CLF,gen,int} = 0,3 * \Phi_{gnr,Pn}$ ), la pérdida térmica del generador  $\Phi_{CLF,gnr,prd,P\beta}$  se calcula mediante ( $\Phi_{gnr,P\beta} = \Phi_{CLF,gen,sld} = Q_{CLF,gen,sld} / t_{CLF,ON-OFF}$ )

$$\phi_{CLF,gnr,prd,P\beta} = \frac{\phi_{gnr,P\beta}}{\phi_{gnr,Pint}} \cdot (\phi_{CLF,gnr,prd,Pint,corr} - \phi_{CLF,gnr,prd,Po,corr}) + \phi_{CLF,gnr,prd,Po,corr} \quad 5-86$$

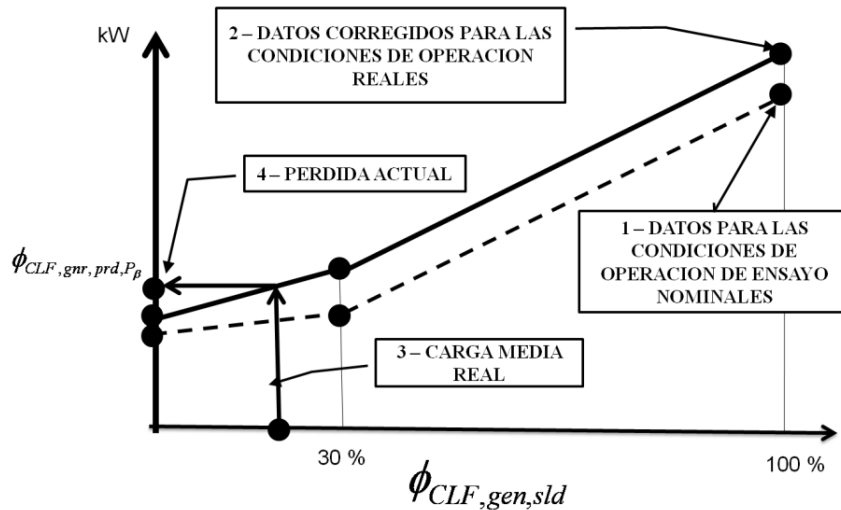


Imagen 5.30: Pérdida térmica del generador cuando  $\Phi_{gnr,P\beta} < \Phi_{gnr,Pint}$

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

$$\phi_{CLF,gnr,prd,P\beta} = \frac{\phi_{P\beta} - \phi_{Pint}}{\phi_{Pn} - \phi_{Pint}} \cdot (\phi_{gnr,prd,Pn,corr} - \phi_{gnr,prd,Pint,corr}) + \phi_{gnr,prd,Pint,corr} \quad 5-87$$

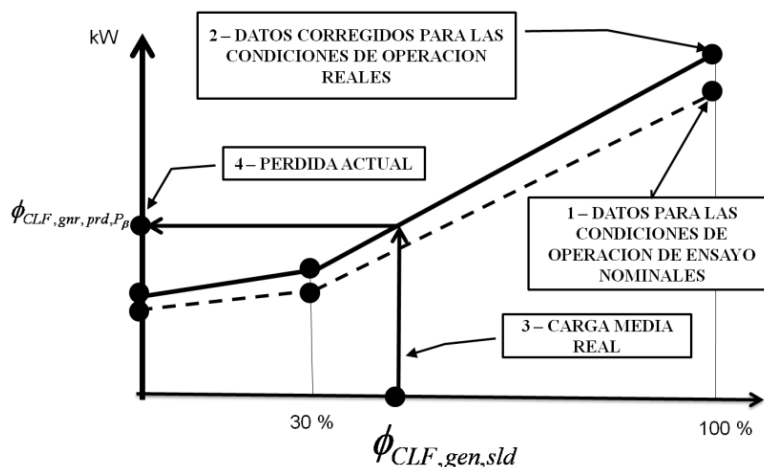


Imagen 5.31: Pérdida térmica del generador cuando  $\Phi_{p\beta} > \Phi_{Pint}$

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

$$\begin{aligned} \phi_{CLF,gnr,prd,P_\beta} &= \phi_{gnr,prd,Po,corr} + (\phi_{P_\beta})^2 \cdot \frac{\phi_{P_{int}} \cdot (\phi_{gnr,prd,Pn,corr} - \phi_{gnr,prd,Po,corr}) - \phi_{Pn} \cdot (\phi_{gnr,prd,P_{int},corr} - \phi_{gnr,prd,Po,corr})}{\phi_{Pn} \cdot \phi_{P_{int}} \cdot (\phi_{Pn} - \phi_{P_{int}})} + \\ &+ \phi_{P_\beta} \cdot (\phi_{Pn})^2 \cdot \frac{\phi_{P_{int}} \cdot (\phi_{gnr,prd,P_{int},corr} - \phi_{gnr,prd,Po,corr}) - (\phi_{P_{int}})^2 \cdot (\phi_{gnr,prd,Pn,corr} - \phi_{gnr,prd,Po,corr})}{\phi_{Pn} \cdot \phi_{P_{int}} \cdot (\phi_{Pn} - \phi_{P_{int}})} \end{aligned} \quad 5-88$$

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  $\eta_{gnr,Pn,corr}$ .

$$\phi_{gnr,prd,Pn,corr} = \frac{100 - \eta_{gnr,Pn,corr}}{\eta_{gnr,Pn,corr}} \cdot \phi_{gnr,Pn} \quad 5-89$$

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  $T_{CLF,gnr,Pn,med,ens}$  (tabla 5.37)

$$\eta_{gnr,Pn,corr} = \eta_{gnr,Pn} + f_{corr,Pn} \cdot (T_{CLF,gnr,Pn,med,ens} - T_{CLF,gnr,Pn,med,corr}) \quad 5-90$$

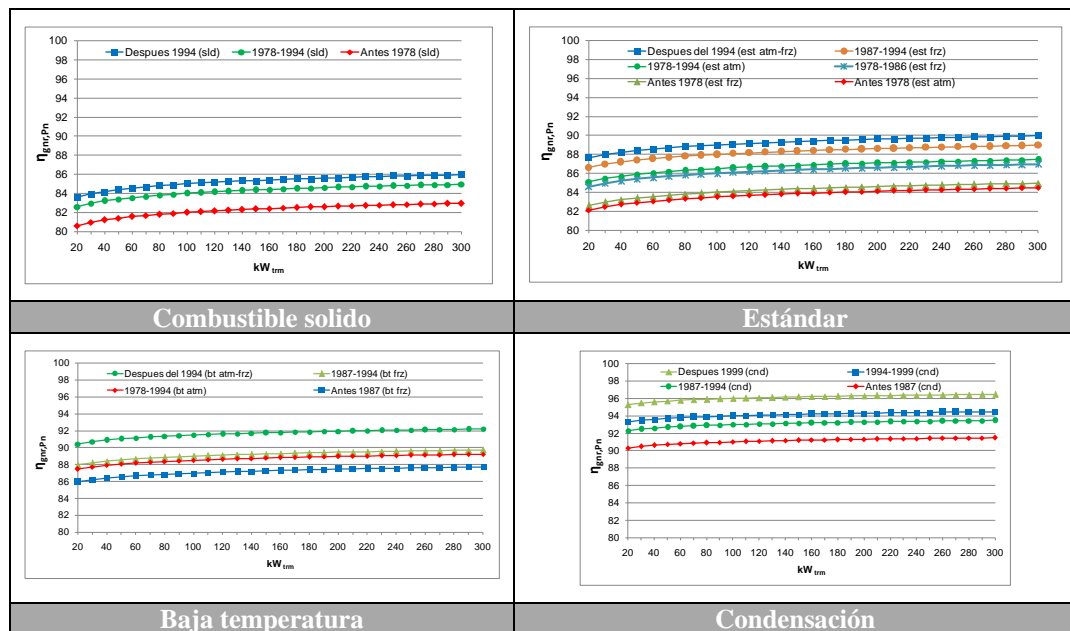
donde

- $\eta_{gnr,Pn}$  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).

$$\eta_{gnr,Pn} = C_1 + C_2 \cdot \log\left(\frac{\phi_{gnr,Pn}}{1.000}\right) \quad 5-91$$

$C_1$  y  $C_2$  se obtienen de la tabla 5.44 y cuya representación gráfica es la que sigue

**Tabla 5.36:** Valores por defecto para  $\eta_{gnr,Pn}$



- $f_{corr,Pn}$  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 5.37). 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

$$f_{corr,Pn} = \frac{\eta_{gnr,Pn} - \eta_{gnr,Pn,adc}}{T_{CLF,gnr,Pn,med,ens,adc} - T_{CLF,gnr,Pn,med,ens}} \quad 5-92$$

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 5.37

**Tabla 5.37:** Valores por defecto para el factor de corrección a plena carga  $f_{corr,Pn}$

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

- $T_{CLF,gnr,Pn,med,corr}$  Temperatura de operación (media) en condiciones reales del generador a plena carga °C. Ver apartado 5.3.2.3.

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  $\eta_{gnr,Pint,corr}$ .

$$\phi_{gnr,prd,Pint,corr} = \frac{100 - \eta_{gnr,Pint,corr}}{\eta_{gnr,Pint,corr}} \cdot \phi_{gnr,Pint} \quad 5-93$$

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

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  $T_{CLF,gnr,Pint,med,ens}$

$$\eta_{gnr,Pint,corr} = \eta_{gnr,Pint} + f_{corr,Pint} \cdot (T_{CLF,gnr,Pint,med,ens} - T_{CLF,gnr,Pint,med,corr}) \quad 5-94$$

donde

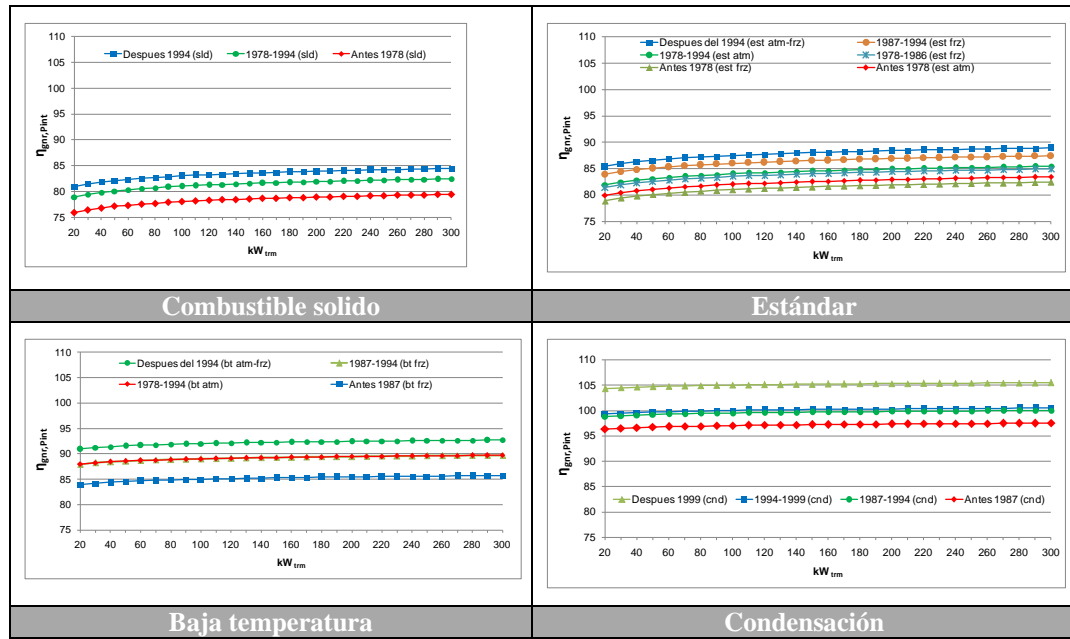
- $\eta_{gnr,Pint}$  Eficiencia del generador a carga intermedia. Si no se ha ensayado el rendimiento del generador de acuerdo con las normas UNE EN correspondientes se puede obtener a partir de la potencia nominal (si  $\Phi_{gnr,Pn}$  es mayor de 400 kW se coloca 400 kW).

$$\eta_{gnr,Pint} = C_3 + C_4 \cdot \log\left(\frac{\phi_{gnr,Pint}}{1.000}\right) \quad 5-95$$

$$\text{- caldera de condensación de combustible liquido } \eta_{gnr,Pint} = \frac{C_3 + C_4 \cdot \log\left(\frac{\phi_{gnr,Pint}}{1000}\right)}{1,05} \quad 5-96$$

$C_3$  y  $C_4$  se obtienen de la tabla 5.44. La representación gráfica es la que sigue:

**Tabla 5.38:** Valores por defecto para  $\eta_{gnr,Pn}$



- $f_{corr,Pint}$  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 5.39). 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

$$f_{corr,Pint} = \frac{\eta_{gnr,Pint} - \eta_{gnr,Pint,adc}}{T_{CLF,gnr,Pint,med,ens,adc} - T_{CLF,gnr,Pint,med,ens}} \quad 5-97$$

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.

**Tabla 5.39:** Factor de corrección a carga intermedia  $f_{corr,Pint}$

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

(\*) Temperatura de retorno. Para una caldera de condensación, los ensayos **no se realizan** con una temperatura media el 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.

- $T_{CLF,gnr,Pint,med,corr}$  Temperatura de operación (media) en condiciones reales del generador a plena carga °C. Ver apartado 5.3.2.3.

La pérdida térmica del generador a la temperatura corregida al 0% carga  $\Phi_{gnr,prd,P0,corr}$  se calcula mediante

$$\phi_{gnr,prd,Po,corr} = \left( \frac{T_{CLF,gnr,med} - T_{sdc}}{\Delta T_{gnr,Po,ens}} \right)^{1,25} \cdot \phi_{gnr,prd,Po} \quad 5-98$$

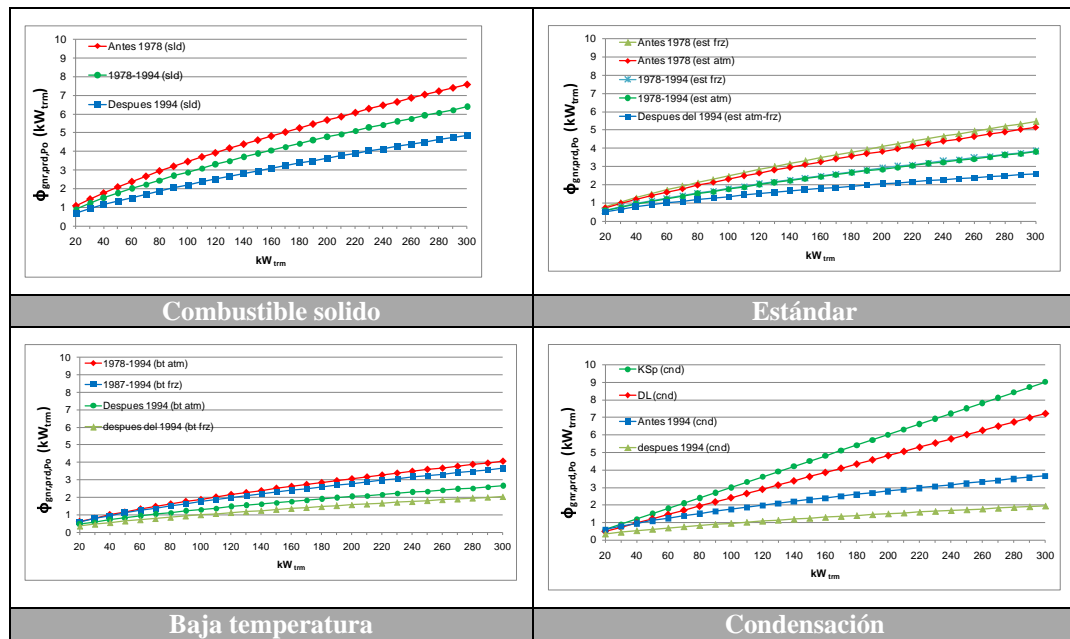
donde

- $\Phi_{gnr,prd,P0}$  Pérdida térmica en espera a carga 0% a la diferencia de temperatura de ensayo  $\Delta T_{gnr,P0,ens}$  con las normas de ensayo correspondientes (normas UNE EN 297[5.16], UNE EN 483/A2[5.24], UNE EN 303[5.17], UNE EN 13836[5.25] y UNE EN 15043[5.26]). Si no se tiene este valor se puede obtener en función de la potencia nominal

$$\phi_{gnr,prd,Po} = \phi_{gnr,Pn} \cdot \frac{C_5}{100} \cdot \left( \frac{\phi_{gnr,Pn}}{1.000} \right)^{C_6} \quad 5-99$$

$C_5$  y  $C_6$  se obtiene de la tabla 5.42. La representación gráfica es la que sigue:

**Tabla 5.40:** Valores por defecto para  $\Phi_{gnr,prd,Po}$



- $T_{CLF,gnr,med}$  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  $^{\circ}C$ . Ver apartado 5.3.2.6.
- $T_{sdc}$  Temperatura interior de la sala de caldera. Se dan valores por defecto a continuación  $^{\circ}C$ .

**Tabla 5.41:** Temperatura de la sala de instalación por defecto

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

- $\Delta T_{gnr,ens,Po}$  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 a continuación



**Tabla 5.42:** Parámetros para el cálculo de las pérdidas de calor en espera

Tipo de caldera	Año de fabricación	c <sub>5</sub> (%)	c <sub>6</sub> (-)	ΔT <sub>gnr,ens,Po</sub> (°C)
Calderas de combustible sólido	Antes de 1978	12,5	-	50
	Entre 1978 y 1994	10,5		
	Después de 1994	8,0		
<b>Calderas estándar</b>				
Calderas de gas atmosféricas (B <sub>x1</sub> )	Antes de 1978	8,0	-	50
	Entre 1978 y 1994	7,0	-0,3	
	Después de 1994	8,5	-0,4	
Calderas con quemador de tiro forzado (combustible líquido o gaseoso)	Antes de 1978	9,0	-	50
	Entre 1978 y 1994	7,5	-	
	Después de 1994	8,5	-0,4	
<b>Calderas de baja temperatura</b>				
Calderas de gas atmosféricas (B <sub>x1</sub> )	Hasta 1994	7,5	-	50
	Después de 1994	6,5	-	
Calderas mixta 11 kW, 18 kW y 24 kW	Hasta 1994	3,0	0,30	50
Calderas mixta KSp <sup>a)</sup>	Después de 1994		0	
Calderas mixta DL <sup>b)</sup>	Después de 1994		2,4	
Calderas con quemador de tiro forzado (combustible líquido o gaseoso)	Hasta 1994	8,0	-	50
	Después de 1994	5,0	-	
<b>Calderas de condensación</b>				
Calderas de condensación (combustible líquido o gaseoso)	Hasta 1994	8,0	-	50
	Después de 1994	4,8	-0,35	
Caldera mixta KSp(11kW,18 kW 24kW) <sup>a)</sup>	Después de 1994	3,0	0	50
Caldera mixta DL (1kW, 18kW y 24kW) <sup>b)</sup>	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<sub>gnr,acm</sub> < 10 l).

b)DL: Caldera con calentamiento de agua caliente sanitaria integrado operando con el principio instantáneo con intercambiador de calor (V<sub>gnr,acm</sub> < 2 l).

### 5.3.2.5. Pérdidas térmicas recuperables

Sólo 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<sub>gnr,prd,env,rcb</sub> se calculan mediante:

$$Q_{CLF,gen,prd,env,rcb} = \phi_{gnr,prd,Po,corr} \cdot (1 - b_{lcl}) \cdot f_{gnr,env} \cdot t_{CLF,ON-OFF} \quad 5-100$$

donde

- f<sub>gnr,env</sub> 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.

**Tabla 5.43:** Parte de las pérdidas de calor en espera atribuidas a las pérdidas a través de la envolvente del generador

Tipo de quemador	f <sub>gnr,env</sub>
Quemador atmosférico	0,50
Quemador con ayuda del ventilador. Forzado	0,75

- $b_{lcl}$  Factor de reducción de temperatura que depende de la localización del generador. Ver tabla 5.35.
- $t_{CLF,ON-OFF}$  Tiempo de operación de la caldera.

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

$$Q_{CLF,gen,prd,env,rcb,rcp} = 0,8 \cdot Q_{CLF,gen,prd,env,rcb} \quad 5-101$$

Estas pérdidas térmicas recuperables verdaderamente recuperadas se deben sumar a las procedentes de la energía auxiliar  $Q_{CLF,gen,prd,rcb,rcp}$

$$Q_{CLF,gen,prd,rcp} = Q_{CLF,gen,aux,rcb,rcp} + Q_{CLF,gen,prd,env,rcb,rcp} \quad 5-102$$

### 5.3.2.6. Temperatura de trabajo media

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

- Tipo de control. Se tienen en cuenta tres tipos de control de caldera, temperatura de impulsión constante, variable dependiendo de la temperatura interior o 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:

$$T_{CLF,gnr,corr,Px,med} = \max(T_{CLF,gnr,min}; T_{CLF,gnr,med}) \quad 5-103$$

- $T_{CLF,gnr,min}$  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 5.44
- $T_{CLF,gnr,med}$  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.

Un circuito de generación puede incluir conexiones de mezcla, recirculación o colector. Por tanto, el caudal y las temperaturas del circuito de generación<sup>69</sup> pueden diferir del caudal y las temperaturas del generador(caldera).

<sup>69</sup> gnr para los valores de la caldera (generador); gen para los valores del circuito de generación.

**Tabla 5.44:** Valores por defecto de  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $C_3$  y  $C_4$

Tipo de caldera	Año de fabricación	$C_1$ %	$C_2$ %	$C_3$ %	$C_4$ %	$T_{CLF,gnr,min}$ °C
<b>Combustible sólido</b>						
<b>Combustible sólido</b>	Antes de 1978	78	2	72	3	50
	Entre 1978 y 1994	80		75		
	Después de 1994	81		77		
<b>Calderas estándar</b>						
<b>Gas atmosféricas (<math>B_{x1}</math>)</b>	Antes de 1978	79,5	2	76	3	50°C
	Entre 1978 y 1994	82,5		78		
	Después de 1994	85		81,5		
<b>Quemador de tiro forzado</b>	Antes de 1978	80	2	75	3	50°C
	Entre 1978 y 1986	82		77,5		
	Entre 1987 y 1994	84		80		
	Después de 1994	85		81,5		
<b>Calderas de baja temperatura</b>						
<b>Gas atmosféricas (<math>B_{x1}</math>)</b>	Entre 1978 y 1994	85,5	1,5	86	1,5	35°C
	Después de 1994	88,5		89		
<b>Calentador de agua de circulación (11 kW, 18 kW y 24 kW)</b>	Antes de 1987	86	0	84	0	35°C
	Entre 1987 y 1992	88		84		
<b>Quemador de tiro forzado</b>	Antes de 1987	84	1,5	82	1,5	35°C
	Entre 1987 y 1994	86		86		
	Después de 1994	88,5		89		
<b>Calderas de condensación</b>						
<b>Calderas de condensación</b>	Antes de 1987	89	1	95	1	20°C
	Entre 1987 y 1994	91		97,5		
	Entre 1994 y 1999	92		98,0		
	Desde 2000	94		103		

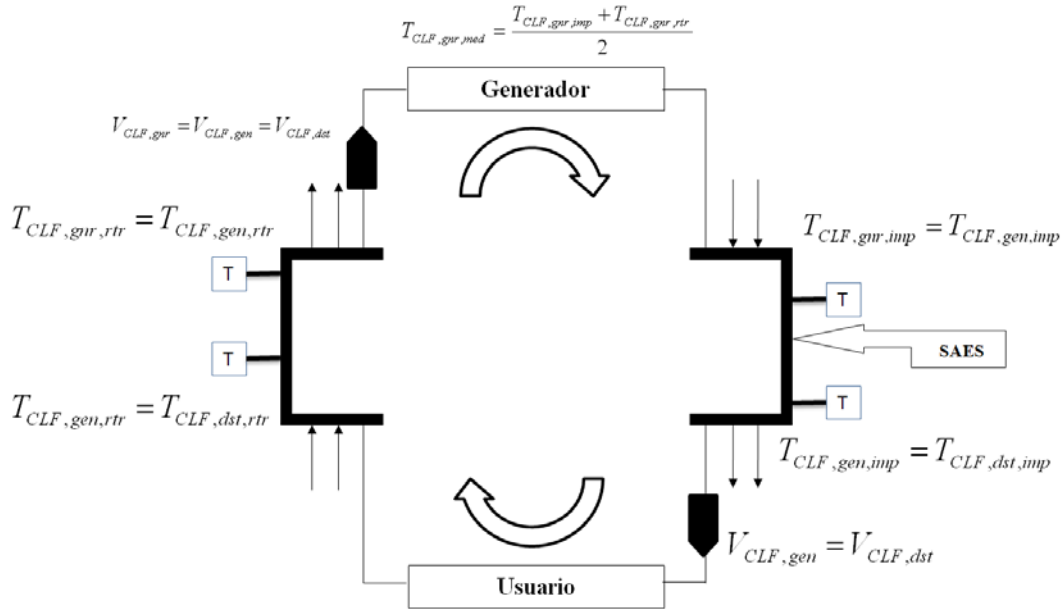
Si el caudal de la caldera  $V_{CLF,gnr}$  es el mismo que el caudal del circuito de generación  $V_{CLF,gen}$  entonces ( $V_{CLF,gnr} = V_{CLF,gen}$ ):

$$V_{CLF,gnr} = V_{CLF,gen} = V_{CLF,dst} \quad 5-104$$

$$T_{CLF,gnr,imp} = T_{CLF,gen,imp} = T_{CLF,dst,imp} \quad 5-105$$

$$T_{CLF,gnr,rtr} = T_{CLF,gen,rtr} = T_{CLF,dst,rtr} \quad 5-106$$

$$T_{CLF,gnr,med} = \frac{T_{CLF,gnr,imp} + T_{CLF,gnr,rtr}}{2} \quad 5-107$$



**Imagen 5.32:** Temperatura de generador (gnr) y sistema de generación (gen).  $V_{CLF, gnr} = V_{CLF, gen}$ . SAES: Sistema de Alimentación, Expansion y Seguridad.

**Leyenda**

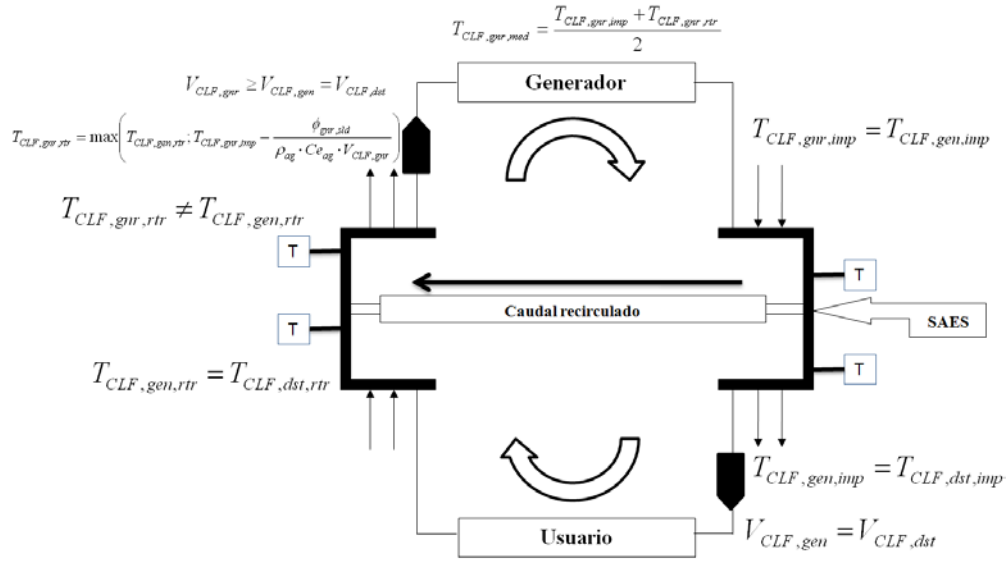
gnr	Generador (caldera)
$T_{CLF, gen, imp}$	Temperatura de impulsión del circuito de generación que es la temperatura de impulsión de distribución $T_{dst, imp}$
$T_{CLF, gen, rtr}$	Temperatura de retorno del circuito de generación que es la temperatura de retorno de distribución $T_{dst, rtr}$
$V_{CLF, gen} = V_{CLF, dst}$	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
$T_{CLF, gnr, imp}$	Temperatura media del agua de la caldera

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

$$T_{CLF, gnr, imp} = T_{CLF, gen, imp} = T_{CLF, dst, imp} \quad 5-108$$

$$T_{CLF, gnr, rtr} = \max \left( T_{CLF, gen, rtr}; T_{CLF, gnr, imp} - \frac{\phi_{gnr, sld}}{\rho_{ag} \cdot C_{e_{ag}} \cdot V_{CLF, gnr}} \right) \quad 5-109$$

$$T_{CLF, gnr, med} = \frac{T_{CLF, gnr, imp} + T_{CLF, gnr, rtr}}{2} \quad 5-110$$



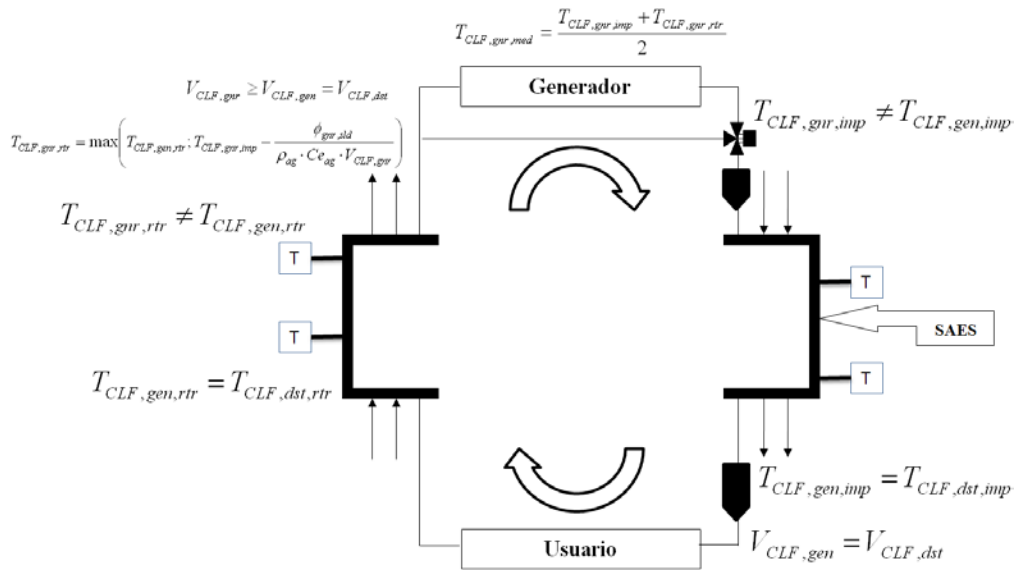
**Imagen 5.33:** Temperatura impulsión, retorno y medias de generador (gnr) y sistema de generación (gen).  
 $V_{CLF, gnr} \geq V_{CLF, gen}$ . SAES: Sistema de Alimentación, Expansión y Seguridad.

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

$$T_{CLF, gnr, rtr} = T_{CLF, gen, rtr} = T_{CLF, dst, rtr} \quad 5-111$$

$$T_{CLF, gnr, imp} = \max\left(T_{CLF, gen, imp}; T_{CLF, gnr, rtr} - \frac{\phi_{gnr, sld}}{\rho_{ag} \cdot Ce_{ag} \cdot V_{CLF, gnr}}\right) \quad 5-112$$

$$T_{CLF, gnr, med} = \frac{T_{CLF, gnr, imp} + T_{CLF, gnr, rtr}}{2} \quad 5-113$$



**Imagen 5.34:** Temperatura impulsión, retorno y medias de generador (gnr) y sistema de generación (gen).  
 $V_{CLF, gnr} \leq V_{CLF, gen}$ . SAES: Sistema de Alimentación, Expansión y Seguridad.

### 5.3.3. Método cíclico

Este 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 quemador apagado (arranques y paradas). Este método se adapta bien tanto a los edificios existentes (pueden medirse in situ algunos de los parámetros) como 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 diferencia 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:

$$Q_{CLF,gen,sld} = Q_{CLF,cmb} + Q_{CLF,gen,aux,bmb,rcp} + Q_{CLF,gen,aux,qmd,rcp} - (Q_{CLF,chl,ON} + Q_{CLF,chl,OFF} + Q_{CLF,env}) \quad 5-114$$

El generador de calor se caracteriza por los siguientes valores (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):

- $\Phi_{CLF,cmb}$  Potencia de combustión nominal del generador, que es la potencia de referencia para  $\alpha_{CLF,chl,ON}$  (tanto el valor de diseño como el real).
- $\Phi_{CLF,rfr}$  Potencia de referencia para los factores de pérdida de calor  $\alpha_{CLF,chl,OFF}$  y  $\alpha_{CLF,env}$  (normalmente  $^{70}\Phi_{CLF,rfr} = \Phi_{CLF,cmb}$ ).
- $\alpha_{CLF,chl,ON}$ ,  $\alpha_{CLF,chl,OFF}$  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  $P_{CLF,qmd}$ .
- $P_{CLF,bmb}$  Consumo de energía eléctrica horario de los aparatos auxiliares (después del generador).
- $k_{CLF,bmb}$  Factor de recuperación de  $P_{CLF,bmb}$ .
- $T_{CLF,gnr,ens,med}$  Temperatura media del agua de la caldera en las condiciones de ensayo para el cálculo de  $\alpha_{CLF,chl,ON}$ .
- $T_{sdc,ens}$  Temperatura de la sala de ensayo para el cálculo de  $\alpha_{CLF,chl,OFF}$  y  $\alpha_{CLF,env}$ .
- $\Delta T_{CLF,gnr,ens}$  ( $T_{CLF,gnr,med,ens} - T_{sdc,ens}$ ) en las condiciones de ensayo para  $\alpha_{chl,OFF}$  y  $\alpha_{env}$ .
- $n_{CLF,chl,ON}$ ,  $n_{CLF,chl,OFF}$  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.
- $\alpha_{CLF,chl,ON,min}$  Factor de pérdida de calor  $\alpha_{CLF,chl,ON}$  a la potencia de combustión mínima  $\Phi_{CLF,cmb,min}$ .

---

<sup>70</sup> $\Phi_{rfr}$  se mantiene formalmente separado de  $\Phi_{cmb}$  para mejorar la claridad de las fórmulas y para permitir la utilización de los datos de medición cuando estén disponibles.

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

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

- $\Delta T_{CLF,hum-rr}$  Diferencia de temperatura entre la temperatura de retorno del agua de la caldera y la temperatura de los humos de combustión.
- $X_{CLF,O_2,hum,scs}$  Contenido de oxígeno del gas de combustión seco.

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

- $\Delta T_{CLF,hum-rr,min}$  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  $\Phi_{CLF,cmb,min}$ .
- $X_{CLF,O_2,hum,scs,min}$  Contenido de oxígeno del gas de combustión seco a la potencia mínima de combustión.

### 5.3.3.1. Energía auxiliar

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

$$W_{CLF,gen,aux} = \sum_i P_{CLF,gnr,aux,i} \cdot t_{CLF,ON,i} \quad (\text{kWh})5-115$$

donde  $P_{CLF,gnr,aux}$  (kW) dispositivos antes y después de la cámara de combustión:  $P_{CLF,qmd}$  y  $P_{CLF,bmb}$

$$\sum_i P_{CLF,gnr,aux,i} = \sum_j P_{CLF,qmd,j} + \sum_k P_{CLF,bmb,k} \quad (\text{kWh})5-116$$

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:

$$Q_{CLF,gen,aux,qmd,rcp} = \sum_j P_{CLF,qmd,j} \cdot t_{CLF,ON,j} \cdot k_{CLF,qmd} \quad (\text{kWh})5-117$$

Donde  $k_{CLF,qmd}$  factor de recuperación de energía auxiliar. Parte de la energía eléctrica 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  $P_{CLF,qmd} = \sum P_{CLF,qmd,j}$

$$Q_{CLF,gen,aux,qmd,rcp} = P_{CLF,qmd} \cdot t_{CLF,ON} \cdot k_{CLF,qmd} \quad (\text{kWh})5-118$$

La energía auxiliar de los dispositivos k después de la cámara de combustión (es decir, bomba primaria, cuando esta es considerada dentro del subsistema de generación) que se convierte en calor y se recupera hacia el sistema se da mediante:

$$Q_{CLF,gen,aux,bmb,rcp} = \sum_k P_{CLF,bmb,k} \cdot t_{CLF,ON,k} \cdot k_{CLF,bmb} \quad (\text{kWh})5-119$$

Donde  $k_{CLF,bmb}$  factor de recuperación de energía auxiliar. Parte de la energía eléctrica 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  $P_{bmb} = \sum P_{bmb,k}$ :

$$Q_{CLF,gen,aux,bmb,rcp} = P_{CLF,bmb} \cdot t_{CLF,ON} \cdot k_{CLF,bmb} \quad 5-120$$

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

$$W_{CLF,gen,aux} = \frac{Q_{CLF,gen,aux,qmd,rcp}}{k_{CLF,qmd}} + \frac{Q_{CLF,gen,aux,bmb,rcp}}{k_{CLF,bmb}} \quad 5-121$$

Los consumos de energía eléctrica  $P_{CLF,gnr}$  pueden ser, declarados por el fabricante, medidos, o valores por defecto calculados de acuerdo con el método expuesto a continuación<sup>71</sup>

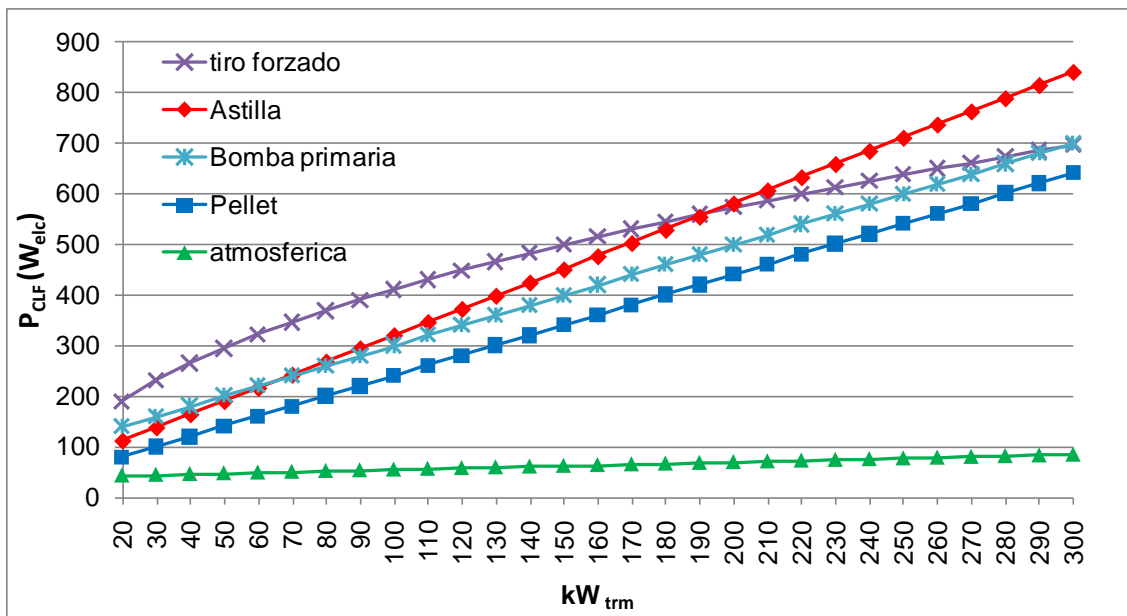
$$P_{CLF,qmd} = c_3 + c_4 \cdot \left( \frac{\phi_{gnr,Pn}}{1.000} \right)^n \quad 5-122$$

$$P_{CLF,bmb} = c_3 + c_4 \cdot \left( \frac{\phi_{gnr,Pn}}{1000} \right)^n \quad 5-123$$

**Tabla 5.45:** Valor por defecto de  $C_3$  y  $C_4$  para el cálculo del consumo de energía eléctrica de los Dispositivos auxiliares

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 <sup>1)</sup>	40	2	1
$P_{CLF,qmd}$ , caldera central alimentada de forma automática con virutas de madera <sup>1)</sup>	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  $P_{bmb} = 0$ .



**Imagen 5.35:** Potencia térmica dispositivos auxiliares

<sup>71</sup>En el caso de instalaciones in situ la fuente de datos debe indicarse claramente en el informe de cálculo.



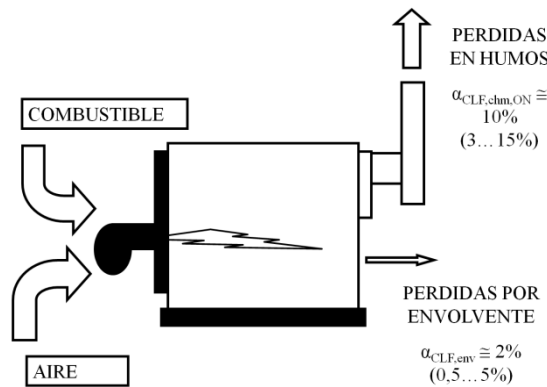
### 5.3.3.2. Pérdidas térmicas

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 medias reales. Esto se aplica tanto a los valores de ensayo normalizados como a las mediciones de campo.

Estas pérdidas están compuestas por las pérdidas térmicas a través de la chimenea con el quemador encendido, con el quemador apagado y a través de la envolvente.

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 5.36:** 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:

$$Q_{CLF, chm, ON} = \frac{\alpha_{CLF, chm, ON, corr}}{100} \cdot \phi_{CLF, cmb} \cdot t_{CLF, ON} \quad (\text{kWh}) \quad 5-124$$

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

$$\alpha_{CLF, chm, ON, corr} = \left( \alpha_{CLF, chm, ON} + (T_{CLF, gnr, med} - T_{CLF, gnr, ens, Pn, med}) \cdot f_{CLF, corr, chm, ON} \right) \cdot (\beta_{CLF, cmb})^{p_{CLF, chm, ON}} \quad 5-125$$

donde

- $\alpha_{CLF, chm, ON}$  % 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 5.46. 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, es decir una media de 70°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  $T_{CLF,gnr,ens,rr}$  en la ecuación anterior en lugar de la temperatura media del agua  $T_{CLF,gnr,med}$ .

Si no hay datos disponibles se puede utilizar los valores por defecto de la tabla 5.46

- $T_{CLF,gnr,med}$  Temperatura media del agua en la caldera en las condiciones de operación (media de la temperatura de impulsión y retorno).

Para las calderas de condensación, debe utilizarse la temperatura del agua de retorno  $T_{CLF,gnr,rr}$  en la ecuación anterior en lugar de la temperatura media del agua  $T_{CLF,gnr,med}$

- $f_{corr,chl,ON}$  Factor de corrección para  $\alpha_{CLF,chl,ON}$ . En la tabla 5.46 se dan valores por defecto.
- $n_{CLF,chl,ON}$  Exponente para el factor de carga  $\Phi_{CLF,chl}$ . En la tabla siguiente se dan valores por defecto.
- $\beta_{CLF,chl}$  Factor de carga, relación entre el tiempo con el quemador encendido y el tiempo total de operación del generador (en funcionamiento y en espera):

$$\beta_{CLF,chl} = \frac{t_{CLF,ON}}{t_{CLF,ON-OFF}} = \frac{t_{CLF,ON}}{t_{CLF,ON} + t_{CLF,OFF}} \Rightarrow t_{CLF,ON} = \beta_{CLF,chl} \cdot t_{CLF,ON-OFF} \quad 5-126$$

En los cálculos teóricos el factor de carga  $\beta_{CLF,chl}$  debe calcularse de acuerdo con la energía  $Q_{CLF,gen,sld}$  a suministrar por el subsistema de generación y en los sistemas existentes que se quiera se puede medir (cociente entre el poder calorífico del combustible por el volumen de combustible consumido entre el producto de la potencia nominal y el tiempo de funcionamiento).

La ecuación 5.139 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 (apartado 5.3.3.5).

**Tabla 5.46:** Valor por defecto de  $T_{CLF,gnr,ens,Pn,med}$ ,  $\alpha_{CLF,chl,ON}$  y  $f_{CLF,corr,chl,ON}$

Descripción	$T_{CLF,gnr,ens,Pn,med}$ °C	$\alpha_{CLF,chl,ON}$ %	$f_{CLF,corr,chl,ON}$ %/°C
<b>Caldera atmosférica</b>	70	12	0,045
<b>Caldera de gas de tiro forzado</b>		10	
<b>Caldera de combustible líquido</b>		11	
<b>Caldera de condensación</b>	60 <sup>1)</sup>	6	

<sup>1)</sup> Temperatura de retorno para las calderas de condensación  $T_{CLF,gnr,rr}$ .

La ecuación 5.139 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.

No se está teniendo en cuenta la energía recuperada por la condensación del vapor de agua en los humos de combustión. Se considera aparte.

**Tabla 5.47:** Valor por defecto del exponente  $n_{chl,ON}$

Descripción	$c_{mas,chl,ON}$ kg/kW	$n_{CLF,chl,ON}$ -
<b>Caldera montada en la pared</b>	< 1	0,05
<b>Caldera de acero</b>	1 a 2	0,10
<b>Caldera de fundición</b>	> 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  $c_{mas,chl,ON}$ .

Las pérdidas térmicas a través de la cubierta del generador  $Q_{CLF,env}$  se dan mediante (pérdidas en parada y en funcionamiento):

$$Q_{CLF,env} = \frac{\alpha_{CLF,env,corr}}{100} \cdot \phi_{CLF,rfr} \cdot (t_{CLF,ON} + t_{CLF,OFF}) = Q_{CLF,env,ON} + Q_{CLF,env,OFF} \quad (\text{kWh}) \quad 5-127$$

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.

El porcentaje de pérdidas térmicas específicas reales a través de la cubierta del generador  $\alpha_{CLF,env,corr}$  se dan mediante:

$$\begin{aligned} \alpha_{CLF,env,corr} &= \alpha_{CLF,env} \cdot k_{CLF,env,rcp} \cdot \frac{(T_{CLF,gnr,med} - T_{sdc})}{(T_{CLF,gnr,ens,Pn,med} - T_{sdc,ens})} \cdot (\beta_{CLF,cmb})^{n_{CLF,env}} = \quad 5-128 \\ &= \alpha_{CLF,env,ON,corr} + \alpha_{CLF,env,OFF,corr} \end{aligned}$$

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)

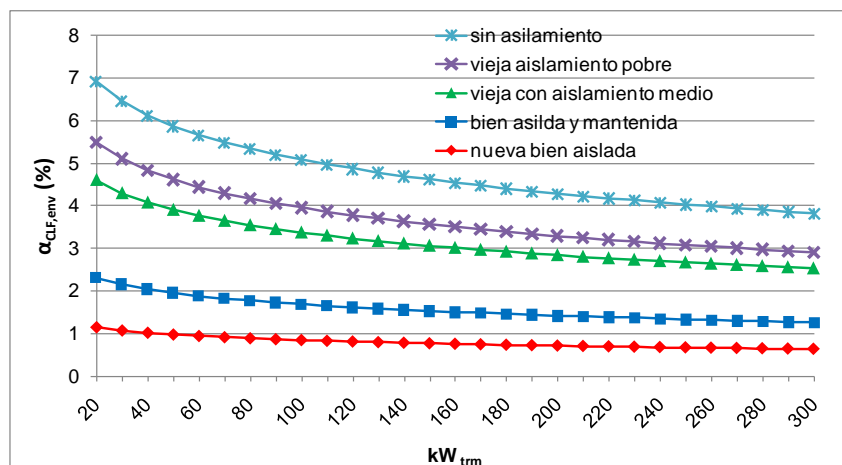
- $\alpha_{CLF,env}$  Porcentaje de pérdidas de calor a través de la envolvente del generador en las condiciones de ensayo como fracción de la potencia de referencia  $\Phi_{CLF,rfr}$  (normalmente la potencia de combustión nominal del generador  $\Phi_{CLF,cmb}$ ). Para el diseño de nuevos sistemas,  $\alpha_{CLF,env}$  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%.

$$\alpha_{CLF,env} = C_1 - C_2 \cdot \log\left(\frac{\phi_{CLF,rfr}}{1.000}\right) \quad 5-129$$

$\Phi_{CLF,rfr}$  en kW.

**Tabla 5.48:** Valor por defecto del exponente  $C_1$  y  $C_2$

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



**Imagen 5.37:** Pérdidas térmicas por la envolvente

- $k_{CLF,env,rcp}$  Factor de reducción teniendo en cuenta la localización del generador.  $K_{CLF,env,rcp}$  tiene en cuenta la recuperación de las pérdidas térmicas como una reducción de las pérdidas totales. Se dan a continuación valores por defecto.
- $n_{CLF,env}$  Exponente para el factor de carga  $\beta_{CLF,cmb}$ . En la tabla siguiente 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.

**Tabla 5.49:** El valor por defecto del exponente  $n_{CLF,env}$

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 envolvente del generador si se permite que el generador se enfríe durante el periodo de espera. Esta reducción aplica sólo 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 sólo en sistemas pequeños). En el resto de casos $n_{CLF,env} = 0$ (se inhibe esta corrección).		

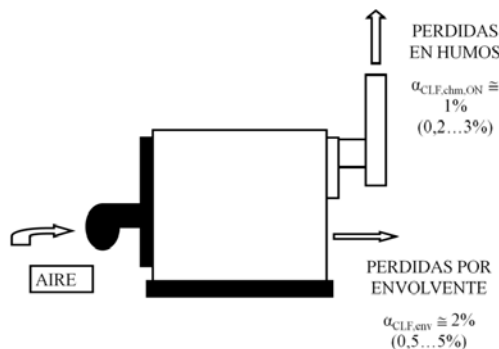
**Tabla 5.50:** Valor por defecto del factor  $k_{CLF,env,rcp}$  y la temperatura de la sala de instalación  $T_{sdc,ens}$

Tipo de caldera y localización	$k_{CLF,env,rcp}$ -	$T_{sdc,ens}$ °C	$T_{sdc}^1$ °C
<b>Caldera instalada dentro del local calentado</b>	0,1	20	20
<b>Caldera atmosférica instalada dentro del local calentado</b>	0,2		
<b>Caldera instalada dentro de una sala de caldera</b>	0,7		13
<b>Bajo techo</b>	0,8		5
<b>Caldera instalada en el exterior</b>	1		Temperatura externa
El valor por defecto $T_{CLF,gnr,ens,Pn,med}$ es de 70°C. <sup>1</sup> Estos valores son los de la tabla 5.41.			

Las pérdidas térmicas a través de la chimenea con el quemador apagado  $Q_{CLF,chn,OFF}$  se dan mediante:

$$Q_{CLF,chn,OFF} = \frac{\alpha_{CLF,chn,OFF,corr}}{100} \cdot \phi_{CLF,rfr} \cdot t_{CLF,OFF} \quad 5-130$$

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 5.38:** Pérdidas con el quemador apagado (arrancadas y paradas)

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 función de su capacidad calorífica.

Por todo el porcentaje de pérdidas térmicas específicas reales a través de la chimenea con el quemador apagado  $\alpha_{CLF,chl,OFF,corr}$  se dan mediante

$$\alpha_{CLF,chl,OFF,corr} = \alpha_{CLF,chl,OFF} \cdot \frac{(T_{CLF,gnr,med} - T_{sdc})}{(T_{CLF,gnr,ens,med} - T_{sdc,ens})} \cdot (\beta_{CLF,chl})^{\alpha_{CLF,chl,OFF}} \quad 5-131$$

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):

- $\alpha_{CLF,chl,OFF}$  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  $\Phi_{CLF,rfr}$  (normalmente igual a la potencia de combustión nominal del generador  $\Phi_{CLF,rfr} = \Phi_{CLF,chl}$ ). Para el diseño de nuevos sistemas,  $\alpha_{CLF,chl,OFF}$  es el valor declarado por el fabricante (nominal). Para sistemas existentes,  $\alpha_{CLF,chl,OFF}$  puede calcularse mediante la medición del caudal y la temperatura en la salida de los humos de combustión de la caldera. Su valor suele estar comprendido entre el 0,2 y 4%.

Si no hay datos disponibles, se pueden utilizar los siguientes:

**Tabla 5.51:** Valor por defecto de  $\alpha_{CLFchl,OFF}$

Descripción	$\alpha_{CLFchl,OFF}$ %
<b>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 (clapeta):</b>	
<b>Quemadores de premezcla</b>	0,2 0,2
<b>Caldera de gas montada en la pared con ventilador y salida del gas de combustión en la pared</b>	4
<b>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 (sin clapeta):</b>	
- Altura de chimenea $\leq 10$ m	1,0
- Altura de chimenea $> 10$ m	1,2
<b>Caldera de gas atmosférica:</b>	
- Altura de chimenea $\leq 10$ m	1,2
- Altura de chimenea $> 10$ m	1,6

- $n_{CLF,chl,OFF}$  Exponente para el factor de carga  $\beta_{CLF,chl}$ . Se dan valores por defecto para este exponente dependiendo del parámetro  $c_{chl,OFF}$ , 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.

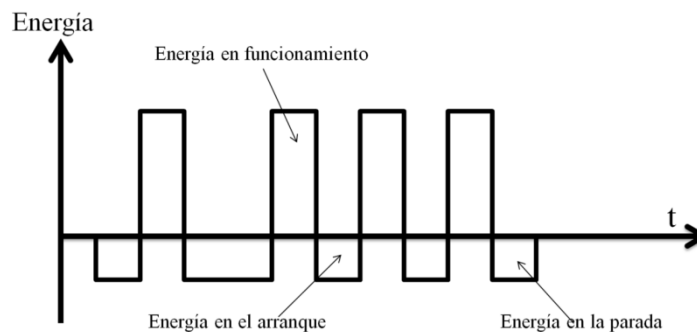
**Tabla 5.52:** Valor por defecto del exponente  $n_{CLF,chl,OFF}$

Descripción	$C_{chl,OFF}$ kg/kW	$n_{CLF,chl,OFF}$ -
<b>La bomba primaria está siempre funcionando</b>		0
<b>La bomba primaria se para cuando el quemador se apaga y ambos están controlados por el termostato de la sala:</b>		
- caldera montada en la pared	< 1	0,15
- caldera de acero	1 a 3	0,10
- caldera de fundición	> 3	0,05

- $T_{sdc,ens}$  Temperatura de la sala de ensayo. Los valores por defecto se dan en la tabla 5.50.
- $T_{sdc}$  Temperatura real de la sala donde está instalado el generador. Los valores por defecto se dan en la tabla 5.50.

### 5.3.3.3. Generadores de una etapa

Para los generadores de calor de una única etapa se seguirá el procedimiento descrito a continuación



**Imagen 5.39:** Generadores de una etapa

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 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  $t_{CLF,ON-OFF}$  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  $\beta_{CLF,cmb}$ .

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  $\Phi_{CLF,rfr} = \Phi_{CLF,cmb}$ )

$$\beta_{CLF, cmb} = \frac{100 \cdot \frac{Q_{CLF, gen, sld} - Q_{CLF, gen, aux, bmb, rcp}}{t_{CLF, ON-OFF} \cdot \phi_{CLF, rfr}} + \alpha_{CLF, chm, OFF, corr} + \alpha_{CLF, env, corr}}{100 \cdot \frac{\phi_{CLF, cmb} + k_{CLF, qmd} \cdot P_{CLF, qmd}}{\phi_{CLF, rfr}} - \frac{\phi_{CLF, cmb}}{\phi_{CLF, rfr}} \cdot \alpha_{CLF, chm, ON, corr} + \alpha_{CLF, chm, OFF, corr}} \quad 5-132$$

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:

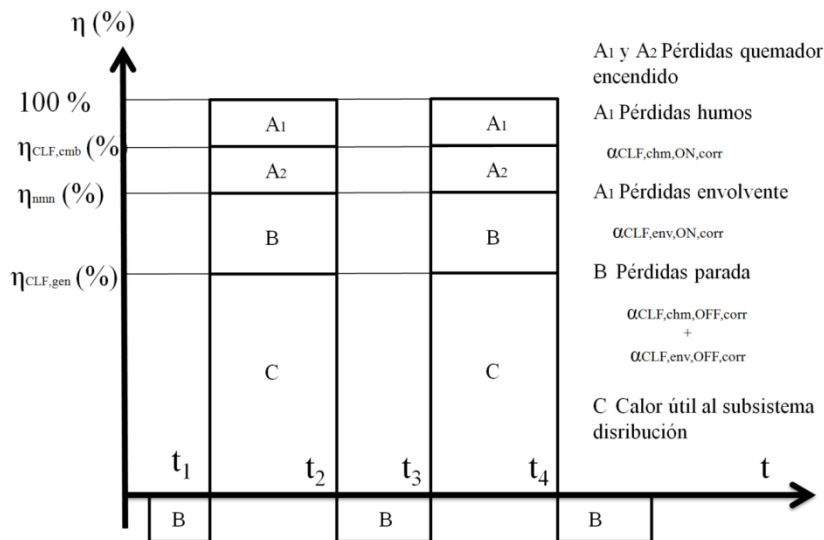
$$E_{CLF, gen, ent} = \phi_{CLF, cmb} \cdot t_{CLF, ON-OFF} \cdot \beta_{CLF, cmb} \quad 5-133$$

i) Se calculan las pérdidas térmicas totales mediante:

$$Q_{CLF, gen, prd, no rcp} = E_{CLF, gen, ent} - Q_{CLF, gen, sld} + Q_{CLF, gen, aux, qmd, rcp} + Q_{CLF, gen, aux, bmb, rcp} \quad 5-134$$

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 5.40:** Gasto de energía en generadores de una etapa. El área del gráfico indica la energía

- Áreas con quemador encendido ( $t_{CLF, ON}$ ) (minutos  $t_1$  a  $t_2$  y  $t_3$  a  $t_4$ )

Área  $A_1 + A_2 + B + C$  es el área total de energía del combustible durante el tiempo en que el quemador está encendido (potencia de nominal, combustión, multiplicada por el tiempo con quemador encendido  $t_{CLF, ON}$ )

Área  $A_1$  representa las pérdidas de humos durante el quemador encendido (en sistemas existentes se puede obtener del anexo C de la norma UNE EN 15378[5.27]).

Área  $A_2$  representa las pérdidas de la envolvente durante el tiempo en el que el quemador está encendido.

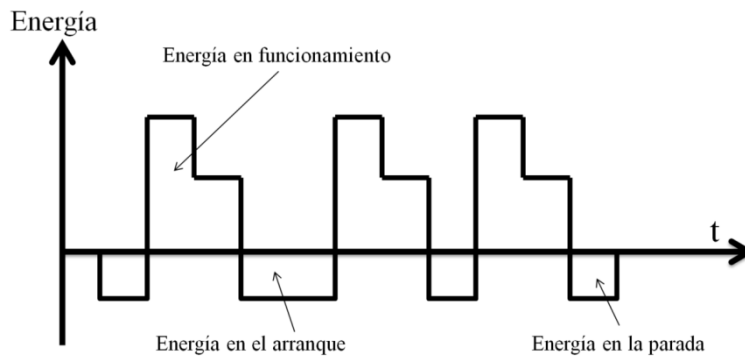
Área  $B + C$  energía total entregada al subsistema de distribución durante el tiempo  $t_{CLF, ON}$  y energía pérdida en la parada  $t_{CLF, OFF}$ .

- Aéreas con quemador apagado ( $t_{CLF,OFF}$ ) (minutos  $t_2$  a  $t_3$ )  
 Área B pérdidas en la envolvente y la chimenea durante la parada  $t_{CLF,OFF}$   
 Área C es la cantidad de calor entregada al subsistema de distribución durante un ciclo  $t_{CLF,ON} + t_{CLF,OFF}$  (minutos  $t_1$  a  $t_4$ ).

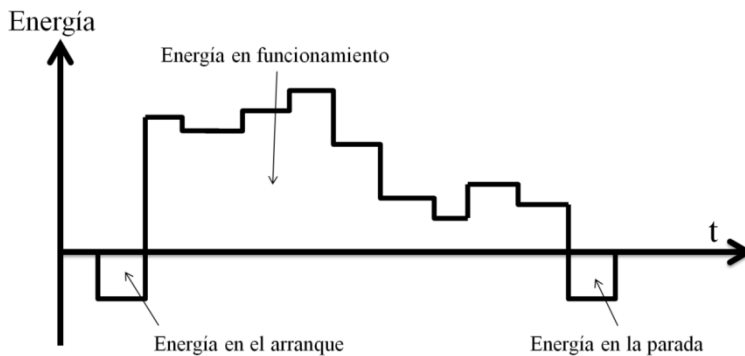
#### 5.3.3.4. Generadores multietapa y modulantes

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 5.41:** Generadores multietapa (dos etapas)

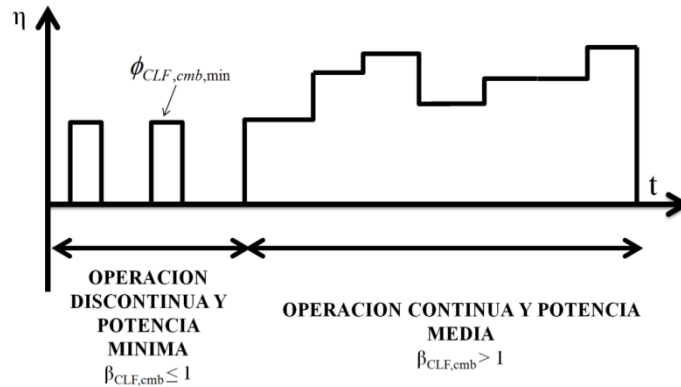


**Imagen 5.42:** Generadores modulantes

La norma UNE EN 15316-4-1 [5.10] asume que sólo 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  $\beta_{CLF,comb} \leq 1$  en el primer paso iterativo. Parte izquierda imagen 5.43.
- 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  $\beta_{CLF,comb} > 1$  en el primer paso interactivo. Parte derecha imagen 5.43.





**Imagen 5.43:** 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

$$\phi_{CLF,cmb,min} = \phi_{CLF,cmb} \cdot f_{CLF,cmb,min} \quad 5-135$$

**Tabla 5.53:** Parámetro  $f_{CLF,cmb,min}$  para quemadores multietapa y modulantes

Descripción	$f_{CLF,cmb,min}$ (-)
Caldera de gas	0,3
Caldera de combustible líquido	0,5

- $\alpha_{CLF,chg,ON,min}$  Porcentaje de pérdida de calor a la potencia de combustión mínima  $\Phi_{CLF,cmb,min}$  como una fracción de  $\Phi_{CLF,cmb,min}$ . Si no están disponibles datos del fabricante se pueden obtener de la siguiente tabla

**Tabla 5.54:** Valor por defecto de  $T_{CLF,gnr,ens,Pmin,med}$  y  $\alpha_{CLF,chg,ON,min}$

Descripción	$T_{CLF,gnr,ens,Pmin,med}$ °C	$\alpha_{CLF,chg,ON,min}$ %
Caldera atmosférica	70	11
Caldera de gas de tiro forzado		9
Caldera de combustible líquido		10
Caldera de condensación	50 <sup>1)</sup>	5

<sup>1)</sup> Temperatura de retorno para las calderas de condensación.

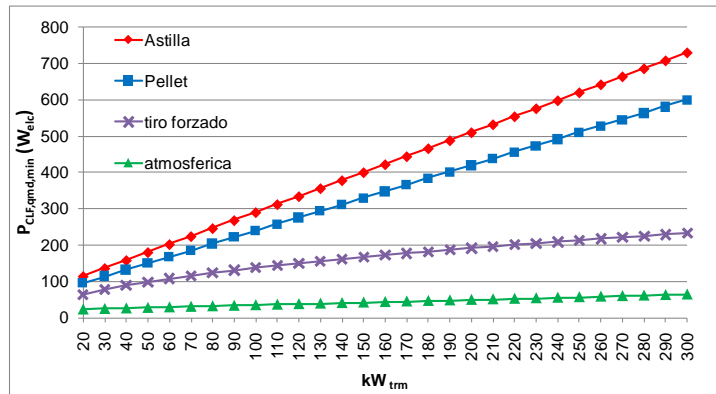
- $P_{CLF,qmd,min}$  Consumo de energía eléctrica horario de los aparatos auxiliares del quemador a la potencia de combustión mínima. Si no están disponibles datos del fabricante se puede obtener de la siguiente ecuación.

$$P_{CLF,qmd,min} = c_3 + c_4 \cdot \left( \frac{\phi_{gnr,Pn}}{1000} \right)^n \quad 5-136$$

**Tabla 5.55:** Valor  $C_3$ ,  $C_4$  y  $n$  para cálculo de energía auxiliares a la potencia de combustión mínima

Descripción	$C_3$ W	$C_4$ W	$n$ -
$P_{qmd}$ , calderas de gas atmosféricas ( $B_{x1}$ y $C_{x1}$ ) <sup>2)</sup>	20	0,148	1
$P_{qmd}$ , calderas de tiro forzado ( $B_{xv>1}$ y $C_{xv>1}$ ) <sup>2)</sup>	0	15	0,48
$P_{qmd}$ , caldera central alimentada de forma automática con pellet <sup>1)</sup>	60	1,8	1
$P_{qmd}$ , caldera central alimentada de forma automática con virutas de madera <sup>1)</sup>	70	2,2	1

<sup>1)</sup> Con la utilización de encendido con ayuda del ventilador, los valores para  $P_n$  y  $P_{ini}$  deben incrementarse en un 40%.  
<sup>2)</sup> Clasificación según UNE CEN/TR 1749 IN



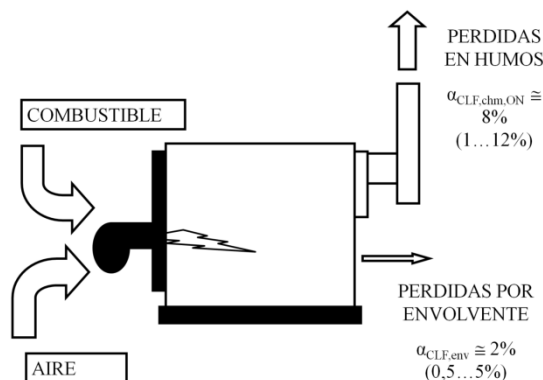
**Imagen 5.44:** Potencia eléctrica mínima del quemador

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  $P_{CLF,qmd}$



**Imagen 5.45:** 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

Si el factor de carga  $\beta_{CLF,comb}$  converge a un valor que no es mayor de 1, se sigue hasta el final el procedimiento para los generadores de una etapa.

Si el factor de carga  $\beta_{CLF,comb}$  converge a un valor mayor de 1, entonces el tiempo de cálculo pasa de ser  $t_{CLF,ON-OFF}$  a ser  $t_{CLF,ON}$  y se calcula la potencia de combustión media  $\Phi_{CLF,comb,med}$  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  $\beta_{CLF,comb} = 1$  (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  $\beta_{CLF,comb} = 1$  (no se tiene en cuenta si existe la condensación).

d) Se calcula  $Q_{CLF,gen,aux,qmd,rcp}$  y  $Q_{CLF,gen,aux,qmd,rcp,min}$  utilizando  $P_{CLF,qmd}$ ,  $P_{CLF,qmd,min}$  y  $\beta_{CLF,comb} = 1$  (no se tiene en cuenta si existe la condensación)

e) Se comienza la iteración suponiendo que  $\Phi_{CLF,comb,med} = \Phi_{CLF,comb} = \Phi_{CLF,comb,max}$

f) Se calcula  $\alpha_{CLF,chl,ON,med,corr}$  mediante:

$$\alpha_{CLF,chl,ON,med,corr} = \alpha_{CLF,chl,ON,min,corr} + (\alpha_{CLF,chl,ON,max,corr} - \alpha_{CLF,chl,ON,min,corr}) \cdot \frac{\phi_{CLF,comb,med} - \phi_{CLF,comb,min}}{\phi_{CLF,comb,max} - \phi_{CLF,comb,min}} \quad 5-137$$

Si fuera una caldera de condensación hay que calcular  $\alpha_{CLF,cnd,med}$  con los valores normales (no los mínimos) y  $\alpha_{CLF,chl,ON,med,corr,cnd} = \alpha_{CLF,chl,ON,med,corr} - \alpha_{CLF,cnd,med}$  (ecuaciones 5.159 y 5.160).

g) Se calcula

$$Q_{CLF,gnr,aux,qmd,rcp} = Q_{CLF,gnr,aux,qmd,min,rcp} + (Q_{CLF,gnr,aux,qmd,max,rcp} - Q_{CLF,gnr,aux,qmd,min,rcp}) \cdot \frac{\phi_{CLF,comb,med} - \phi_{CLF,comb,min}}{\phi_{CLF,comb,max} - \phi_{CLF,comb,min}} \quad 5-138$$

h) Se calcula un nuevo  $\Phi_{CLF,comb,med}$

$$\phi_{CLF,comb,med} = \frac{\frac{Q_{CLF,gen,sld} - Q_{CLF,gnr,aux,bmb,med,rcp} - Q_{CLF,gnr,aux,qmd,med,rcp}}{t_{CLF,ON}} + \frac{\alpha_{CLF,env,corr}}{100} \cdot \phi_{CLF,rfr}}{1 - \frac{\alpha_{CLF,chl,ON,med,corr}}{100}} \quad 5-139$$

i) Se repiten los pasos f), g) y h) hasta que  $\beta_{CLF,comb,med}$  converja. Normalmente una iteración es suficiente.

j) Se calcula la energía a suministrar por el combustible mediante:

$$E_{CLF,gen,ent} = \phi_{CLF,comb,med} \cdot t_{CLF,ON} \quad 5-140$$

k) Se calcula la potencia media de los aparatos auxiliares antes de la cámara de combustión  $\Phi_{qmd,med}$  mediante:

$$\phi_{CLF,qmd,med} = \phi_{CLF,qmd,min} + (\phi_{CLF,qmd,max} - \phi_{CLF,qmd,min}) \cdot \frac{\phi_{CLF,comb,med} - \phi_{CLF,comb,min}}{\phi_{CLF,comb,max} - \phi_{CLF,comb,min}} \quad 5-141$$

l) Se calcula la energía auxiliar mediante:

$$W_{CLF,gen,aux} = t_{CLF,ON} \cdot (\phi_{CLF,qmd,med} + \phi_{CLF,bmb}) \quad 5-142$$

m) Se calcula la energía auxiliar recuperada mediante

$$W_{CLF,gen,aux,rcp} = t_{CLF,ON} \cdot (\phi_{CLF,qmd,med} \cdot k_{CLF,qmd} + \phi_{CLF,bmb} \cdot k_{CLF,bmb}) \quad 5-143$$

n) Se calculan las pérdidas térmicas totales mediante

$$Q_{CLF,gen,prd,no\ rcp} = E_{CLF,gen,ent} - Q_{CLF,gen,sld} + Q_{CLF,gen,aux,qmd,rcp} + Q_{CLF,gen,aux,bmb,rcp} \quad 5-144$$

No hay pérdidas térmicas recuperables, ya que la recuperación se ha tenido en cuenta como una reducción de las pérdidas térmicas a través de la envolvente 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.

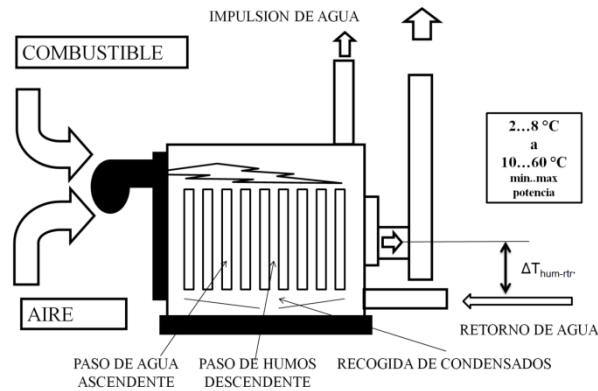
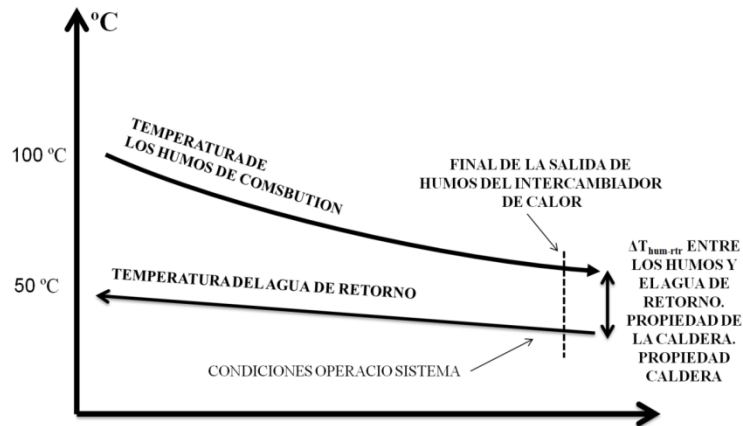


Imagen 5.46: Caldera de condensación

El efecto de la recuperación del calor latente de condensación del vapor de agua de los humos de combustión se caracteriza como una reducción de  $\alpha_{CLF,chl,ON}$  (con la reducción de las pérdidas a través de la chimenea con el quemador encendido) que se calcula teniendo en cuenta la temperatura de los humos de combustión.

La conexión entre la temperatura del agua de retorno<sup>72</sup> y la temperatura de los humos de combustión se determina mediante la diferencia de temperatura entre los humos de combustión y el agua de retorno  $\Delta T_{hum-rtr}$ .

<sup>72</sup>Para un buen aprovechamiento del efecto de condensación es importante que el circuito de retorno se diseñe para funcionamiento a una temperatura baja.



**Imagen 5.47:** 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 5.56.
- $X_{\text{O}_2, \text{hum, sec}}$  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 5.56.

Para las calderas multietapa,  $\Delta T_{\text{hum-rtr}}$  y el aire en exceso se especifican de forma separada para la potencia de combustión mínima y máxima. Se asume que  $\Delta T_{\text{hum-rtr}}$  y el contenido en oxígeno  $X_{\text{O}_2, \text{hum, sec}}$  (aire en exceso) varían linealmente entre la potencia de combustión mínima y máxima. Se requieren por tanto los siguientes datos adicionales:

- $\Delta T_{\text{hum-rtr, min}}$  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  $\Delta T_{\text{hum-rtr, min}}$ . Si este dato no está disponible, puede o bien medirse en un sistema existente o tomarse de la tabla 5.56.
- $X_{\text{O}_2, \text{hum, sec, min}}$  Contenido en oxígeno de los humos de combustión a la potencia de combustión mínima  $\Phi_{\text{CLF, cmb, min}}$ . 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 5.56.
- $\Delta T_{\text{hum-rtr, max}}$  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 5.56.
- $X_{\text{O}_2, \text{hum, sec, max}}$  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 5.56.

**Tabla 5.56:** Valores por defecto para el cálculo de  $\alpha_{CLF, \text{end}}$

Descripción	Símbolo	Unidad	Caso	Valor
<b>Humedad relativa del aire de combustión</b>	$X_{\text{air}}$	%	Todos los casos	50
<b>Humedad relativa del gas de combustión</b>	$X_{\text{hum}}$	%	Todos los casos	100
<b>Diferencia de temperatura entre la temperatura del agua de retorno de la caldera y la temperatura del gas de combustión</b>	$\Delta T_{\text{hum-rtr}}$	°C	$\eta_{\text{gr,Pn}} \geq 102$	20
			$\eta_{\text{gr,Pn}} < 102$	60
<b>Diferencia de temperatura entre la temperatura del agua de retorno de la caldera y la temperatura del gas de combustión a la potencia mínima</b>	$\Delta T_{\text{hum-rtr,min}}$	°C	$\eta_{\text{gr,Pmin}} \geq 106$	5
			$\eta_{\text{gr,Pn}} < 106$	20
<b>Contenido en oxígeno del gas de combustión a la potencia de combustión máxima</b>	$X_{\text{O}_2, \text{hum, sec}}$	–	Todos los casos	6
<b>Contenido en oxígeno del gas de combustión a la potencia de combustión mínima</b>	$X_{\text{O}_2, \text{hum, sec, min}}$	–	Modulación tanto del aire como del gas	6
			Sólo modulación del gas	15

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 (mayor cantidad de vapor de agua en los humos de combustión).

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)
- $V_{\text{air, est, sec}}$  Aire seco estequiométrico (poder comburívoro) como volumen normalizado por unidad de combustible ((Nm<sup>3</sup>/kg) o (Nm<sup>3</sup>/ Nm<sup>3</sup>)). Las condiciones Normales son 0°C y 1atm.
- $V_{\text{hum, est, sec}}$  Humos secos estequiométrico (poder fumígeno) como volumen normalizado por unidad de combustible ((Nm<sup>3</sup>/kg) o (Nm<sup>3</sup>/ Nm<sup>3</sup>))
- $m_{\text{H}_2\text{O, est}}$  Producción de agua estequiométrica por unidad de combustible ((kg/kg) o (kg/Nm<sup>3</sup>)).

La propia norma facilita unos valores por defecto

**Tabla 5.57:** Datos del combustible<sup>73</sup> para el cálculo de la recuperación del calor de condensación teóricos según del DTIE 10.05 [5.28].

	<b>Gas natural</b>	<b>Propano</b>	<b>Butano</b>	<b>Gasóleo C</b>
Poder calorífico superior Hs	kWh/Nm <sup>3</sup>			kWh/kg
	11,95	28,37	34,76	12,23
	kWh/kg			
14,43	13,92	13,74		
Poder calorífico inferior Hi	kWh/Nm <sup>3</sup>			kWh/kg
	10,81	26,13	32,11	11,11
	kWh/kg			
13,05	12,82	12,69		
Hs/Hi	0,9	0,9	0,9	0,9
Densidad ρ	kg/Nm <sup>3</sup>			kg/m <sup>3</sup> (máxima a 15°C)
	0,828	2,038	2,53	900
Poder comburívoro V <sub>air,est,sec</sub>	Nm <sup>3</sup> /Nm <sup>3</sup>			Nm <sup>3</sup> /kg
	10,34	24,61	30,23	10,65
	Nm <sup>3</sup> /kWh			
0,96	0,94	0,94	0,96	
Poder fumígeno V <sub>hum,est,sec</sub>	Nm <sup>3</sup> /Nm <sup>3</sup>			Nm <sup>3</sup> /kg
	9,32	22,56	27,78	10,04
	Nm <sup>3</sup> /kWh			
0,86	0,86	0,87	0,90	
Producción de agua estequiométrica m <sub>H<sub>2</sub>O,cmb,est</sub>	kg H <sub>2</sub> O/Nm <sup>3</sup>			kg H <sub>2</sub> O/kg
	1,68	3,31	3,94	1
	kg H <sub>2</sub> O/kWh			
0,16	0,13	0,12	0,09	

Como se puede observar el gas natural es el combustible que mejor aprovecha la tecnología de las calderas de condensación pues es el que más cantidad de agua produce en la combustión por unidad de energía entregada.

**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 donde<sup>74</sup> α<sub>CLF, chm, ON, corr</sub> se sustituye por α<sub>CLF, chm, ON, cnd</sub> dado mediante:

$$\alpha_{CLF, chm, ON, cnd} = \alpha_{CLF, chm, ON, corr} - \alpha_{CLF, cnd} \tag{5-145}$$

donde

- α<sub>CLF, cnd</sub> Porcentaje de calor latente de condensación recuperado a la potencia nominal, como un porcentaje de Φ<sub>CLF, cmb</sub>, calculado de acuerdo al siguiente procedimiento.

Para calcular α<sub>CLF, cnd</sub> lo primero hay que establecer la temperatura de humos (en la conexión de salida de la caldera al gas de combustión) se calcula mediante:

$$T_{hum} = T_{CLF, gnr, rtr} + \Delta T_{hum-rtr} \tag{5-146}$$

donde

- T<sub>CLF, gnr, rtr</sub> Temperatura del agua de retorno de la caldera, calculada de acuerdo al apartado 5.3.2.3

<sup>73</sup> Se reproducen los valores legislativos de España según el RD 61/2006 en uno de los anexos [5.29].

<sup>74</sup> Advertir que α<sub>CLF, chm, ON, cnd</sub> 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  $V_{hum,sec}$  (poder fumígeno) y la cantidad real de aire de combustión seco  $V_{air,sec}$ :

$$V_{hum,sec} = V_{hum,est,sec} \cdot \frac{20,94}{20,94 - X_{O_2,hum,sec}} \quad 5-147$$

$$V_{air,sec} = V_{air,est,sec} + V_{hum,sec} - V_{hum,est,sec} \quad 5-148$$

$V_{hum,sec} - V_{hum,est,sec}$  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  $m_{H_2O,hum}$ :

$$m_{H_2O,hum} = m_{H_2O,hum,str} \cdot V_{hum,sec} \cdot \frac{x_{hum}}{100} \quad 5-149$$

$$m_{H_2O,air} = m_{H_2O,air,str} \cdot V_{air,sec} \cdot \frac{x_{air}}{100} \quad 5-150$$

donde

- $X_{air}$  Humedad relativa del aire de combustión. Según la tabla 5.58 el valor por defecto en todos los casos es del 50%
- $X_{hum}$  Humedad relativa del gas de combustión. Según la tabla 5.58 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, media de la temperatura del recinto, se asume que es igual a la temperatura de la sala de instalación para los aparatos de tipo B o a la temperatura del aire exterior para los aparatos de tipo C) 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  $Nm^3$  de aire humos secos.

Los datos pueden encontrarse en la siguiente tabla (debe utilizarse una interpolación lineal o polinómica para las temperaturas intermedias).

**Tabla 5.58:** Humedad de saturación del aire y de los humos

$(T_{air} \text{ o } T_{hum})$	°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  $Nm^3$  de gas seco (bien aire o gas de combustión).

Por último se calcula la cantidad de agua de condensación  $m_{H_2O,cnd}$  mediante ( $m_{H_2O,comb}$  agua que se produce en la combustión del hidrocarburo correspondiente<sup>75</sup>):

$$m_{H_2O,cnd} = m_{H_2O,comb} + m_{H_2O,air} - m_{H_2O,hum} \quad 5-151$$

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:

$$Q_{cnd} = m_{H_2O,cnd} \cdot h_{cnd,hum} \quad 5-152$$

<sup>75</sup>  $C_xH_y + O_2 \rightarrow CO_2 + H_2O$  ( $m_{H_2O,comb}$ )



Donde el calor latente específico de condensación  $h_{cnd,hum}$  se calcula mediante:

$$h_{cnd,hum} = 2.500.000 \frac{J}{kg} - T_{hum} \cdot 2.435 \frac{J}{kg^{\circ}C} = 694,61 \frac{Wh}{kg} - T_{hum} \cdot 0,6764 \frac{Wh}{kg^{\circ}C} \quad 5-153$$

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:

$$\alpha_{CLF,cnd} = 100 \cdot \frac{Q_{cnd}}{H_s} \quad 5-154$$

Si el cálculo se basa en los poderes caloríficos inferiores, entonces el calor latente de condensación recuperado  $\alpha_{CLF,cnd}$  se calcula mediante<sup>76</sup>:

$$\alpha_{CLF,cnd} = 100 \cdot \frac{Q_{cnd}}{H_i} \quad 5-155$$

### **Procedimiento de cálculo para Calderas multietapa (escalones)**

Debe seguirse 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:

$$\alpha_{CLF,chl,ON,max,cnd} = \alpha_{CLF,chl,ON,max,corr} - \alpha_{CLF,cnd,max} \quad 5-156$$

$$\alpha_{CLF,chl,ON,min,cnd} = \alpha_{CLF,chl,ON,min,corr} - \alpha_{CLF,cnd,min} \quad 5-157$$

donde

- $\alpha_{CLF,cnd,min}$  Calor latente de condensación recuperado a la potencia de combustión mínima, como un porcentaje de  $\Phi_{CLF,emb,min}$ . Se calcula de acuerdo a lo mostrado anteriormente utilizando:  $X_{O_2,hum,sec,min}$  en lugar de  $X_{O_2,hum,sec}$  y  $\Delta T_{hum-rtr,min}$  en lugar de  $\Delta T_{hum-rtr}$ .
- $\alpha_{CLF,cnd,max}$  Calor latente de condensación recuperado a la potencia de combustión máxima, como un porcentaje de  $\Phi_{CLF,emb,max}$ . 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  $\Delta T_{hum-rtr}$ .

### **Calderas modulantes**

Debe seguirse el procedimiento expuesto en el apartado anterior, donde  $\alpha_{CLF,chl,ON,med,corr}$  y  $\alpha_{CLF,chl,ON,min,corr}$  se sustituyen por  $\alpha_{CLF,chl,ON,med,cnd}$  y  $\alpha_{CLF,chl,ON,min,cnd}$  dados por:

$$\alpha_{CLF,chl,ON,med,cnd} = \alpha_{CLF,chl,ON,med,corr} - \alpha_{CLF,cnd,med} \quad 5-158$$

$$\alpha_{CLF,chl,ON,min,cnd} = \alpha_{CLF,chl,ON,min,corr} - \alpha_{CLF,cnd,min} \quad 5-159$$

donde

- $\alpha_{CLF,cnd,med}$  Calor latente de condensación recuperado a la potencia de combustión media, como un porcentaje de  $\Phi_{cnd,med}$ . 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  $\Delta T_{hum-rtr}$ .

<sup>76</sup> Los valores por defecto están basados en los poderes caloríficos inferiores

$$\Delta T_{hum-rtr,med} = \Delta T_{hum-rtr,min} + \left( \Delta T_{hum-rtr,max} - \Delta T_{hum-rtr,min} \right) \cdot \frac{\phi_{CLF,cmb,med} - \phi_{CLF,cmb,min}}{\phi_{CLF,cmb,max} - \phi_{CLF,cmb,min}} \quad 5-160$$

$$X_{O_2,hum,sec,med} = X_{O_2,hum,sec,min} + \left( X_{O_2,hum,sec,max} - X_{O_2,hum,sec,min} \right) \cdot \frac{\phi_{CLF,cmb,med} - \phi_{CLF,cmb,min}}{\phi_{CLF,cmb,max} - \phi_{CLF,cmb,min}} \quad 5-161$$

### 5.3.3.6. 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 anterior 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:

$$\phi_{CLF,cmb} = \phi_{CLF,cmb,i,max} \cdot n_{CLF,gnr} \quad 5-162$$

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:

$$n_{CLF,gnr,ON} = ent(n_{CLF,gnr} \cdot \beta_{CLF,cmb} + 1) \quad 5-163$$

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 y asumiendo:

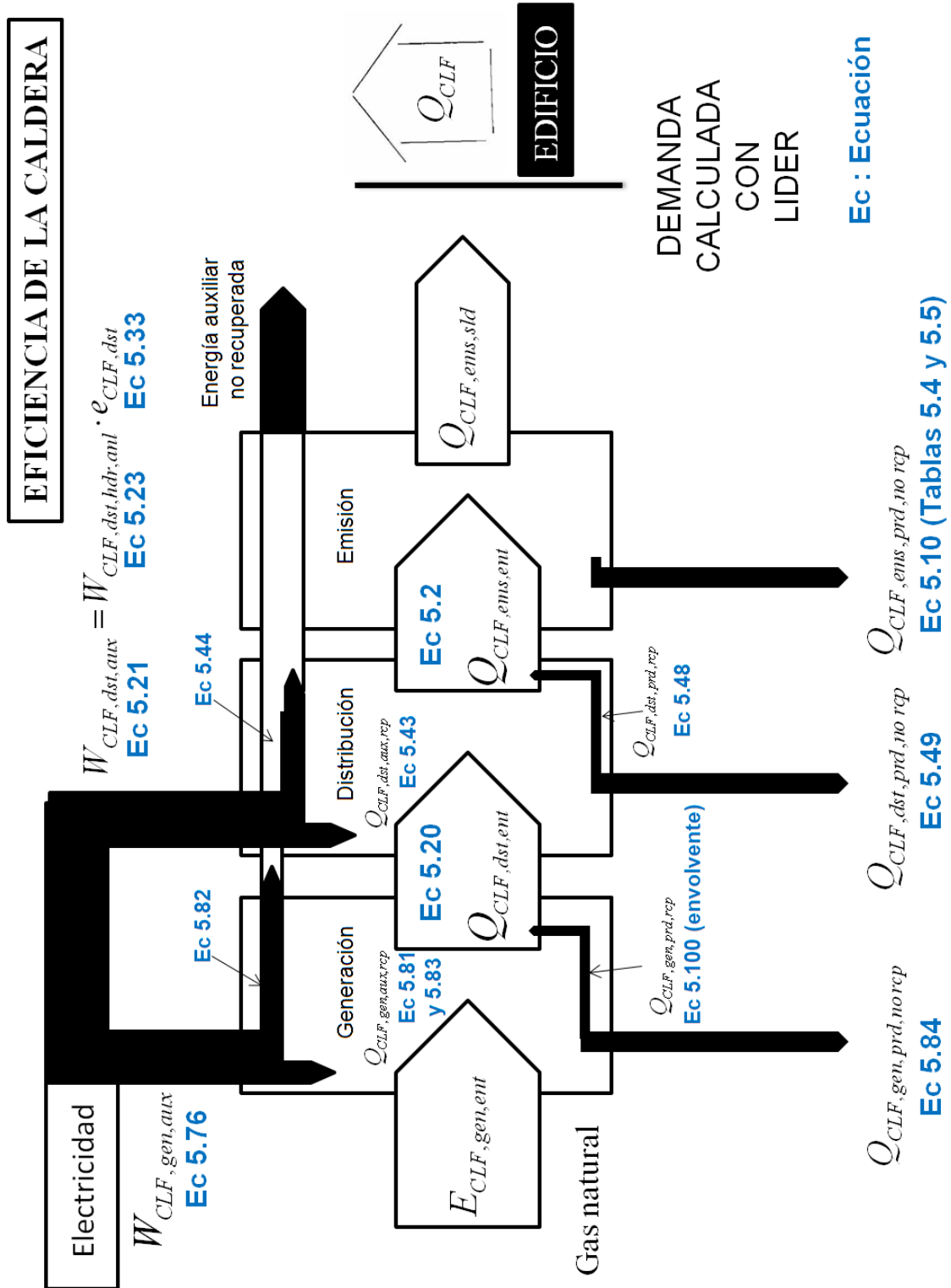
- $\Phi_{CLF,cmb,max} = \Phi_{CLF,cmb,i,max} \cdot n_{CLF,gnr,ON}$
- $\Phi_{CLF,cmb,min} = \Phi_{CLF,cmb,i,min}$

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 y asumiendo:

- $\Phi_{CLF,cmb,max} = \Phi_{CLF,cmb,i,max} \cdot n_{tot}$
- $\Phi_{CLF,cmb,min} = \Phi_{CLF,cmb,i,min} \cdot n_{tot}$

## 5.4. Diagrama sinóptico

Se representa en este apartado un diagrama como un recurso instruccional que comunica al lector la estructura lógica de utilización de la información (ecuaciones) para el estudio de un edificio con unidades terminales tipo radiador y utilizando el método de la eficiencia de la caldera. Se representa este diagrama porque serán estas las ecuaciones que se utilizarán en los ejercicios teóricos y reales analizados.



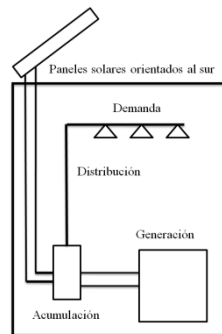
## 6. Agua caliente sanitaria (ACS)

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 y solo las que afectan al consumo de energía para abastecer esta demanda de ACS. En este servicio se tiene en cuenta las pérdidas de energía en los subsistemas de distribución y en la generación.

### 6.1. Distribución

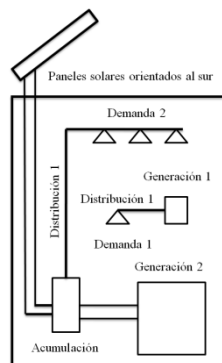
El subsistema de distribución de agua caliente sanitaria consta de uno o más tubos instalados entre el generador de calor o el acumulador de agua caliente (si lo tuviera) y la toma o tomas del usuario (circuito abierto conexión directa entre la generación y la demanda). El sistema de distribución de agua caliente sanitaria puede también incluir un circuito cerrado (recirculación).

El sistema más básico (zona única<sup>77</sup> 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 6.1:** 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.

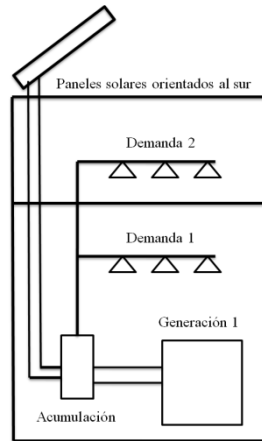


**Imagen 6.2:** Zona única y sistema múltiples

<sup>77</sup> Una zona se define como un edificio o parte de un edificio para el que se calcula la necesidad energética de agua caliente sanitaria.

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 6.3:** 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 se cito 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 cuanto de este es recuperable como energía térmica  $Q_{ACS,dst,aux,rec}$  y cuanto recuperada  $Q_{ACS,dst,aux,rcp}$ .
- Pérdidas térmicas del sistema  $Q_{ACS,dst,prd}$  y cuanto de este es recuperable  $Q_{ACS,dst,prd,rcb}$
- Consumo energético del subsistema  $Q_{ACS,dst,ent}$ .

### 6.1.1. Energía auxiliar

En 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. 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 tuberías <sup>78</sup>kWh/día.
- $W_{ACS,dst,aux,bmb}$  Consumo de energía auxiliar para bombas de recirculación kWh/día.

<sup>78</sup>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.

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)) se calcula mediante:

$$W_{ACS,dst,aux,tub-trc} = \frac{1}{3.600} \cdot L_{tub,trc} \cdot U_{tub,trc} \cdot (T_{ACS,alr} - T_{amb}) \cdot t_{ACS,tub-trc} \quad 6-2$$

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
- $T_{ag,med}$  Temperatura media del agua caliente de la sección del tubo, en °C
- $T_{ACS,alr}$  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 períodos de tiempo que lo hace el programa regulador de calentamiento de agua sanitaria si éste no es continuo.

El consumo de energía auxiliar para la bomba ( $W_{ACS,dst,aux,bmb}$  (kWh)) 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
- $t_{ACS,bmb}$  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 (ésta es la peor situación posible, asumiendo que la bomba funciona todo el día de forma continua, por ejemplo en la recirculación de ACS).

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

- $P_{ACS,hydr,dsñ}$  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:

$$P_{ACS,hydr,dsñ} = \frac{1}{3.600} \cdot \Delta p_{ACS,dsñ} \cdot V_{ACS,dsñ} \quad (\text{kW}) \quad 6-6$$

donde

- $V_{ACS,dsñ}$  Caudal volumétrico, en m<sup>3</sup>/h
- $\Delta p_{ACS,dsñ}$  Presión diferencial a través de la bomba, en kPa

El caudal volumétrico de diseño depende de la potencia térmica del generador de calor,  $\Phi_{ACS,dsñ}$  (kW), y la diferencia máxima de temperatura,  $\Delta T_{ACS,dsñ}$  (°C), a través del generador de calor:

$$V_{ACS,dsñ} = \frac{3.600 \cdot \phi_{ACS,dsñ}}{C_{e_{ag}} \cdot \rho_{ag} \cdot \Delta T_{ACS,dsñ}} \quad 6-7$$

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:

$$\Delta p_{ACS,dsñ} = 0,1 \cdot L_{ACS,max} + \sum \Delta p_{ACS,vrs} + \Delta p_{ACS,gnr} \quad 6-8$$

donde

- $L_{ACS,max}$  Longitud máxima del tubo, en m
- $\Delta p_{ACS,vrs}$  Presión diferencial a través de los accesorios, tales como, válvula antiretorno, 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 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.
- $n_{pln}$  Número de viviendas calefactadas.
- $h_{pln}$  Altura media de una planta, en m.

El tiempo de funcionamiento del circuito cerrado (aconsejable para bloques de viviendas, en el resto de edificios se fija igual al período 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.
- $n_{pln}$  Número de viviendas calefactados.
- $h_{pln}$  Altura media de la planta, en m.

El coeficiente de funcionamiento  $e_{ACS,dst}$  para el funcionamiento de la bomba de circulación es:

$$e_{ACS,dst} = f_{ACS,\eta} \cdot f_{ACS,cntr} \cdot (f_{ACS,fcP})^{-0,94} \quad 6-11$$

donde,

- $f_{ACS,\eta}$  Factor de rendimiento. Si se indica la potencia nominal de la bomba se calcula mediante:

$$f_{ACS,\eta} = \frac{P_{ACS,hdr,dst,bmb}}{P_{ACS,hdr,dst}} \quad 6-12$$

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:

$$f_{ACS,\eta} = \frac{1,5 \cdot b}{0,015 \cdot (P_{ACS,hdr,dst})^{0,74} + 0,04} \quad 6-13$$

donde  $b = 1$  para nuevos edificios y  $b = 2$  para edificios existentes.

- $f_{ACS,cntr}$  Factor de control de la bomba según la tabla siguiente

**Tabla 6.1:** Factor de control de la bomba  $f_{ACS,cntr}$

Control de la bomba	Velocidad fijada	$\Delta p_{cte}$	$\Delta p_{vrb}$
$f_{ACS,cntr}$	0,97	0,66	0,52

- $f_{ACS,fcP}$  Factor de carga. Razón entre el caudal real de diseño y el caudal máximo. Si no existe un controlador de caudal, se aplica  $f_{ACS,fcP} = 1$ .

Un coeficiente del valor de consumo  $e_{ACS,dst}$  simplificado (como en el caso del servicio de calefacción) se obtiene mediante:

$$e_{ACS,dst} = f_{ACS,efc} \cdot (Cp_1 + Cp_2) \quad 6-14$$

donde

- $Cp_1, Cp_2$  Constantes indicadas en la tabla siguiente

**Tabla 6.2:** Valores de las constantes  $Cp_1, Cp_2$

Control de la bomba	$Cp_1$	$Cp_2$
Sin control	0,25	0,94
Con control	0,50	0,63

- $f_{ACS,efc}$  Factor de rendimiento según la siguiente definición

Bomba identificada  $f_{ACS,efc} = \frac{P_{ACS,hdr,dst,bmb}}{P_{ACS,hdr,dst}} \quad 6-15$



$$\text{Bomba no identificada} \quad f_{ACS,efc} = \left( 1,25 + \left( \frac{200}{P_{ACS,hdr,dst}} \right)^{0,5} \right) \cdot 1,5 \cdot b \quad 6-16$$

donde b es el factor que determina el sobredimensionamiento:

- Bombas diseñadas para la demanda,  $b^{79} = 1$ .
- Bombas sobredimensionadas,  $b = 2$ .

#### 6.1.1.1. Funcionamiento intermitente

Si el agua caliente sanitaria no necesita un período 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:

$$W_{ACS,dst,aux,int} = W_{ACS,dst,hdr} \cdot e_{ACS,dst} \cdot (k_{ACS,dia} + 0,6k_{ACS,noche}) \quad 6-17$$

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 hasta 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 anterior).

#### 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  $Q_{ACS,dst,aux,rec}$  mediante la siguiente expresión.

$$Q_{ACS,dst,aux,rec} = k_{ACS,dst,aux,rec} \cdot W_{ACS,dst,aux} \quad 6-18$$

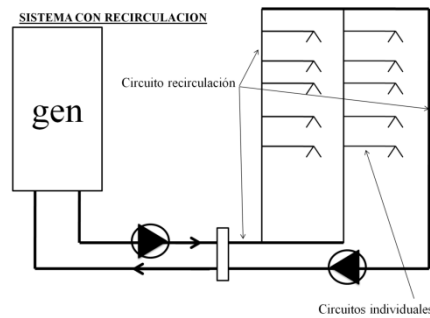
Puede aplicarse el valor por defecto del 80% ( $k_{ACS,dst,aux,rec} = 0,8$ ) del valor del consumo de energía auxiliar  $W_{ACS,dst,aux}$ .

#### 6.1.2. 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):

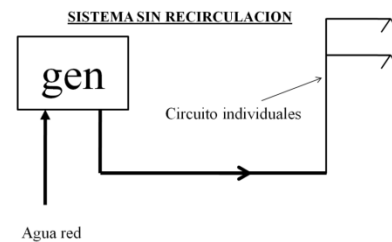
- Un circuito cerrado de retorno (recirculación), si lo tuviera (en las redes de ACS debe disponerse una red de retorno cuando la longitud de la tubería de ida al punto de consumo más alejado sea igual o mayor que 15 m DB HS-3 punto 2.3 Ahorro de Agua).

<sup>79</sup> Para el caso del servicio de calefacción estos valores se utilizan para diferenciar la nueva construcción de la existente.



**Imagen 6.4:** Circuitos individuales y de recirculación

- Tubos individuales de distribución a la toma o tomas del usuario.



**Imagen 6.5:** 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 circuitos individuales del sistema de distribución (no el circuito cerrado), en <sup>80</sup>kWh /día.
- $Q_{dst,prd,rcr}$  Pérdida térmica del circuito cerrado del sistema de distribución (parte colectiva), si la tuviera, en kWh/día.

### 6.1.2.1. Circuitos 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 período 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 períodos de tiempo entre las extracciones consecutivas (es decir dependiendo del modo, modelo, de extracción). Si el período de tiempo es suficientemente largo, el aislamiento del tubo no afecta a la pérdida térmica durante los períodos de no extracción.

Si el período de tiempo es corto, el aislamiento del tubo reduce la pérdida térmica, ya que la temperatura del agua caliente no disminuye a la temperatura ambiente de alrededor del tubo.

Se describen a continuación tres métodos diferentes para el cálculo.

<sup>80</sup> Las pérdidas térmicas anuales, mensuales o semanales se obtienen multiplicando la pérdida térmica diaria por el número de días correspondiente.

Un primer método<sup>81</sup> está basado en la longitud de los tubos (masa y volumen de agua que contienen) y en el número de extracciones al día<sup>82</sup>. 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:

$$Q_{dst,prd,ind,i} = \frac{\rho_{ag} \cdot C_{e_{ag}} \cdot V_{ag,tub,i} + C_{e_{tub}} \cdot m_{tub,i}}{3.600} \cdot (T_{ag,nmn,i} - T_{ACS,alr,med,i}) \cdot n_{ext,i} \quad (\text{kWh/día}) \quad 6-20$$

donde,

- $\rho_{ag}$  Densidad de agua, en kg/m<sup>3</sup>
- $C_{e_{ag}}$  Capacidad calorífica específica del agua, en kJ/kgK
- $V_{ag,tub,i}$  Volumen de agua contenida en las tubos en la sección i, en m<sup>3</sup>

$$V_{ag,tub,i} = \sum_i \frac{\pi \cdot d_{int}^2}{4} \cdot L_{cnx,i} \quad 6-21$$

- $T_{ACS,alr,med,i}$  Temperatura media ambiental alrededor de los tubos en la sección i, en °C únicamente depende de la localización del tubo.

$$T_{ACS,alr,med} = T_{int} - f_{lcl} \cdot (T_{int} - T_{ext,med}) \quad 6-22$$

donde

- $T_{int}$  Temperatura del agua en el interior de los tubos de distribución °C
- $T_{ext,med}$  Temperatura media exterior por donde discurren los tubos °C
- $f_{ACS,lcl}$  Factor de localización (-). Tabla 6.3.

**Tabla 6.3:** Factor de localización correspondiente a la localización de los tubos

Localización del circuito cerrado	$f_{ACS,lcl}$
<b>Fuera del edificio</b>	1
<b>Fuera del espacio calefactado, circulación horizontal</b>	0,8
<b>Dentro del espacio calefactado</b>	0
<b>Otros (por ejemplo, un tubo embutido)</b>	a calcular y comprobar

- $T_{ag,nmn,i}$  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.
- $C_{e_{tub}}$  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.

<sup>81</sup> El nivel del detalle elegido debería estar relacionado con el nivel del detalle utilizado para definir las necesidades de agua caliente sanitaria.

<sup>82</sup> Este método se aplica sólo para circuitos de agua caliente sanitaria que no formen parte de un circuito cerrado

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.

$$Q_{dst,prd,ind,ext} = \frac{(\rho_{ag} \cdot Ce_{ag} \cdot V_{ag,tub} + m_{tub} \cdot Ce_{tub})}{3.600} \cdot (T_{ag,nmn} - T_{ag,tub,fnl}) \quad (\text{kWh}) \quad 6-23$$

$$T_{ag,tub,fnl} = T_{ACS,alr,med} + (T_{ag,nmn} - T_{ACS,alr,med}) \cdot e^{-\left(\Psi_{ACS,tub} (T_{ag,nmn} - T_{ACS,alr,med}) L_{ACS,cnx} t_{ant,ext}\right) / (\rho_{ag} \cdot Ce_{ag} \cdot V_{ag,tub} + m_{tub} \cdot Ce_{tub}) (T_{ag,nmn} - T_{ACS,alr,med}) 1000} \quad 6-24$$

donde,

- $T_{ag,tub,fnl}$  Temperatura final del agua caliente en la sección i del tubo antes de la próxima extracción, en °C
- $L_{ACS,cnx}$  Longitud de la sección i del tubo, en m
- $t_{ant,ext}$  Intervalo de tiempo antes de la próxima extracción, en s (difícil de obtener)
- $\Psi_{ACS,tub}$  Factor de transmisión térmica lineal (W/mK) del tubo. Si no se conoce utilizar los valores del punto 5.2.2.

En el caso de que no se puede determinarse 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 siguiente 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.

**Tabla 6.4:** Valores por defecto para el cálculo de las pérdidas térmicas de los tubos individuales

Parámetro		Unidad	$L_{ACS,cnx}$
Temperatura media ambiental $T_{ACS,alr,med}$		°C	20
<b>Tipo I</b>	Una toma en una habitación, por ejemplo, desde el calentador hasta la toma.	m	1 x (A/80)
<b>Tipo II</b>	Más de una toma en una habitación, por ejemplo, en un cuarto de baño	m	3 x (A/80)
<b>Tipo III</b>	Más de una toma en una habitación adyacente con un muro de instalación común.	m	4 x (A/80)
<b>Tipo IV</b>	Longitud del tubo para el suministro central dentro de la unidad de vivienda.	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 calificado del edificio y de ahí que no haya tuberías de distribución colocadas en un espacio no calificado.  
A es la superficie del suelo en m<sup>2</sup>.

La representación gráfica representa una mayor distancia para viviendas con mayor superficie y para cada tipo (I, II, III, IV).

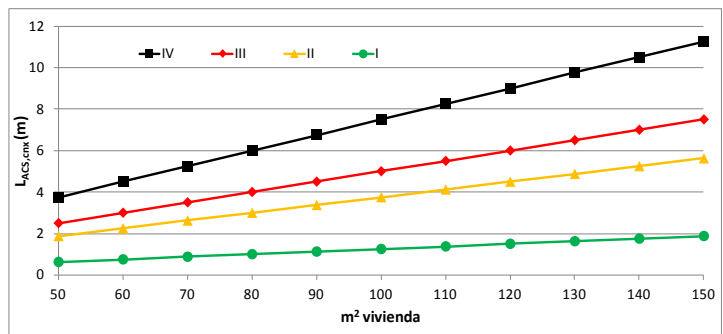


Imagen 6.6: Longitud tubos individuales en viviendas unifamiliares

Un segundo método está basado en las longitudes de los tubos y en la eficiencia de la distribución<sup>83</sup>. Se basa en estimaciones de la proporción de la energía calorífica que alcanzan 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:  $L_{tub,ccn}$  y  $L_{tub,wc}$ .

La proporción de energía calorífica que alcanza la toma del usuario se fija con las eficiencias en los tubos en la cocina y en los baños  $\eta_{tub,ccn}$  y  $\eta_{tub,wc}$ , respectivamente. Los valores de estos parámetros tienen que obtenerse de la tabla 6.5.

Tabla 6.5: Proporción de energía calorífica que alcanzan las tomas del usuario  $\eta_{tub,ccn}$  y  $\eta_{tub,wc}$

Longitud $L_{tub,ccn}$ y $L_{tub,wc}$ (m)	$L \leq 2$	$2 < L \leq 4$	$4 < L \leq 6$	$6 < L \leq 8$	$8 < L \leq 10$	$10 < L \leq 12$	$12 < L \leq 14$	$L > 14$
<b>Cocina</b>		$\eta_{tub,ccn}$						
$d_{int} < 8$ mm para 2/3 de la longitud del tubo total	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
<b>Cuarto de baño</b>		$\eta_{tub,wc}$						
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 (intervalos grandes)  
 - 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.

La eficiencia combinada de los tubos de suministro de ACS se calcula mediante:

$$\eta_{ACS,tub} = \frac{1}{\left( \frac{f_{ccn}}{\eta_{tub,ccn}} + \frac{f_{wc}}{\eta_{tub,wc}} \right)} \tag{6-25}$$

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.

<sup>83</sup> Este método sólo 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

La pérdida térmica total diaria de los tubos de suministro de agua caliente sanitaria se calcula mediante:

$$Q_{ACS,dst,prd,ind} = Q_{ACS} \cdot \frac{1 - \eta_{ACS,tub}}{\eta_{ACS,tub}} \quad 6-26$$

donde,

- $Q_{dst,prd,ind}$  Pérdida térmica de los tubos de suministro, en kWh/día
- $Q_{ACS}$  Necesidad energética para el agua caliente sanitaria, en kWh/día

Una tercera forma **está basada en las longitudes de los tubos y en los perfiles de extracción tipificados**. Este método se basa en los cálculos de las pérdidas térmicas expresados 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 una de los tres programas europeos de extracción la pérdida térmica diaria se calcula mediante:

$$Q_{ACS,dst,prd,ind,1} = Q_{ACS,1} \cdot \alpha_{ACS,dst,1} \quad 6-27$$

$$Q_{ACS,dst,prd,ind,2} = Q_{ACS,2} \cdot \alpha_{ACS,dst,2} \quad 6-28$$

$$Q_{ACS,dst,prd,ind,3} = Q_{ACS,3} \cdot \alpha_{ACS,dst,3} \quad 6-29$$

donde

- $\alpha_{dst,1}$  Factor de pérdida energética para el programa 1 (tipificados en la norma UNE EN 15316-3-1 [6.5]) 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.
- $\alpha_{dst,2}$  Factor de pérdida energética para el programa 2 (tipificados en la norma UNE EN 15316-3-1 [6.5]) 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.
- $\alpha_{dst,3}$  Factor de pérdida energética para el programa 3 (tipificados en la norma UNE EN 15316-3-1 [6.5]) 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.

Los tres factores de pérdida energética  $\alpha_{ACS,dst,i}$  se calculan mediante:

$$\alpha_{ACS,dst,1} = 0,09 + 0,005 \cdot (L_{ACS,tub,clf} - 6) + 0,008 \cdot L_{ACS,tub,no\ clf} \quad 6-30$$

$$\alpha_{ACS,dst,2} = 0,10 + 0,005 \cdot (L_{ACS,tub,clf} - 6) + 0,008 \cdot L_{ACS,tub,no\ clf} \quad 6-31$$

$$\alpha_{ACS,dst,3} = 0,05 + 0,005 \cdot (L_{ACS,tub,clf} - 6) + 0,008 \cdot L_{ACS,tub,no\ clf} \quad 6-32$$

donde

- $L_{ACS,tub,clf}$  Longitud media del tubo de distribución dentro del espacio calificado.
- $L_{ACS,tub,no\ clf}$  Longitud media del tubo de distribución en un espacio no calificado. Normalmente es cero.

La pérdida térmica diaria si la demanda no coincida con una de los tres programas europeos de extracción  $Q_{dst,prd,ind}$  se expresa mediante:

$$Q_{ACS,dst,prd,ind} = Q_{ACS} \cdot \alpha_{ACS,dst} \quad 6-33$$

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:

$$Q_{ACS} < Q_{ACS,2} : \alpha_{ACS,dst} = \alpha_{ACS,dst,2} - 0,01 \cdot \frac{Q_{ACS,2} - Q_{ACS}}{Q_{ACS,2} - Q_{ACS,1}} \quad 6-34$$

$$Q_{ACS} > Q_{ACS,2} : \alpha_{ACS,dst} = \alpha_{ACS,dst,2} - 0,05 \cdot \frac{Q_{ACS} - Q_{ACS,2}}{Q_{ACS,3} - Q_{ACS,2}} \quad 6-35$$

Una cuarta forma de calcular las pérdidas térmicas de los tubos está basada en la longitud de los tubos y en la temperatura media (generalmente para sistemas centrales). 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).

#### 6.1.2.2. Circuito cerrado (red de retorno)

En un circuito cerrado se producen pérdidas térmicas en las tuberías durante el período 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 períodos de circulación y de las pérdidas térmicas durante los períodos de no circulación:

$$Q_{dst,prd,rcr} = Q_{dst,prd,rcr,ON} + Q_{dst,prd,rcr,OFF} \quad (\text{kWh/día}) \quad 6-36$$

Las pérdidas térmicas durante el tiempo de funcionamiento del circuito cerrado están basadas en la longitud de las tuberías y su transmitancia térmica.

En el caso de conocer todos los datos la pérdida térmica diaria del circuito cerrado se calculan 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, valor desaconsejable por ser muy genérico):

$$Q_{dst,prd,rcr,ON} = \sum_i \frac{1}{1.000} \cdot \psi_{ACS,tub} \cdot L_{ACS,tub} \cdot (T_{ACS,ag,med} - T_{ACS,alr,med}) \cdot t_{ag,rcr,ON} \quad 6-37$$

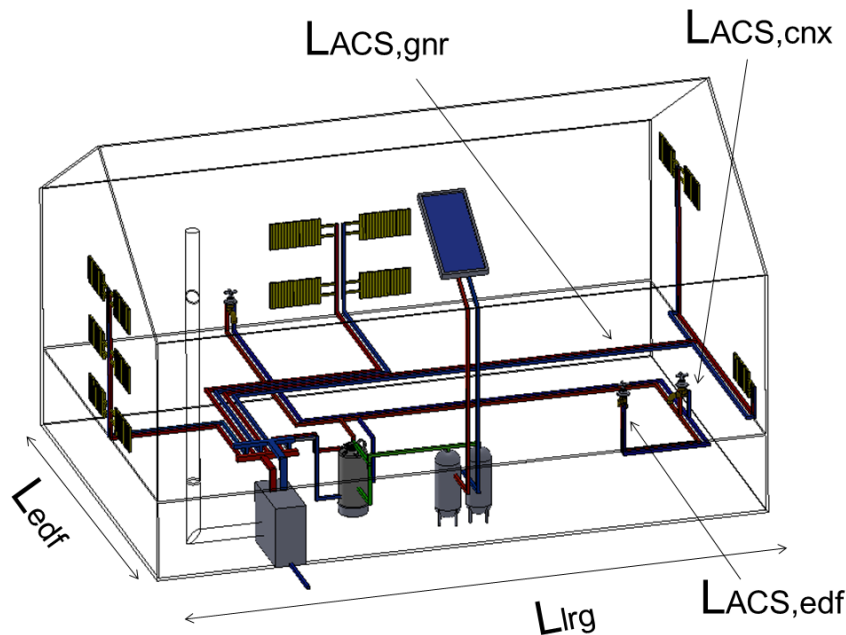
donde,

- $Q_{dst,prd,rcr,ON}$  Pérdidas térmicas de la sección i del tubo (durante los períodos 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 mismo valores tabulados (punto 5.2.2)
- $L_{ACS,tub}$  Longitud de la sección i de las tuberías de recirculación, 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

- $t_{ag,rcr,ON}$  Período diario de utilización a las temperaturas correspondientes,  $T_{ACS,alr,med}$ , en h/día. Coincide con  $t_{ACS,bmb}$  Pudiera 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 6.7:** Secciones en la distribución de ACS.

Los tubos de la sección  $L_{ACS,gnr}$  pueden colocarse en un espacio no calificado, 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.



**Tabla 6.6:** Valores por defecto pérdidas térmicas del circuito cerrado y los tubos de distribución

Parámetros	Símbolo	Unidad	$L_{ACS,gnr}$	$L_{ACS,edf}$	$L_{ACS,ctx}$
Temperatura ambiente fuera del periodo de calefacción	$T_{amb,no\ clf}$	°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 calificado	
Longitud si existe un circuito cerrado	$L_{ACS,tub}$	m	$2 \times L_{lrg} + 0,0125 \times L_{lrg} \times L_{anch}$	$0,075 \times L_{lrg} \times L_{anch} \times n_{pln} \times h_{pln}$	—
Longitud del tubo principal de distribución sin circuito cerrado	$L_{ACS,tub}$	m	$L_{anch} + 0,0625 \times L_{lrg} \times L_{anch}$	$0,038 \times L_{lrg} \times L_{anch} \times n_{pln} \times h_{pln}$	—
Longitud de las ramificaciones individuales, exclusivamente para comunicaciones con habitaciones adyacentes con un muro común de instalación	$L_{ACS,tub}$	m	—	—	$0,05 \times L_{lrg} \times L_{anch} \times n_{pln}$
Longitud de las ramificaciones individuales para el resto de los casos	$L_{ACS,tub}$	m	—	—	$0,075 \times L_{lrg} \times L_{anch} \times n_{pln}$

$L_{lrg}$  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.

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:

$$Q_{dst,prd,rcr,OFF} = \sum_i \frac{\rho_{ag} \cdot Ce_{ag}}{3.600} \cdot V_{ACS,tub} \cdot (T_{ACS,ag,med} - T_{ACS,alr,med}) \cdot n_{cls,bmb} \quad 6-38$$

donde,

- $\rho_{ag}$  Densidad del agua, en kg/m<sup>3</sup>
- $Ce_{ag}$  Capacidad calorífica específica del agua, en kJ/kgK
- $V_{ACS,tub}$  Volumen de agua acumulada en la sección i del tubo, en m<sup>3</sup>
- $n_{cls,bmb}$  Número de ciclos de funcionamiento de la bomba de circulación durante un día. Si se apaga solo por la noche la bomba de recirculación este vale  $n_{cls,bmb} = 1$ .

### 6.1.2.3. 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 tabulada en ninguna de la bibliografía consultada las pérdidas térmicas de las tomas del usuario ( $\beta_{ACS,esp}$ ) pero si se conocen debe utilizarse para el cálculo de las pérdidas totales debidas a estas tomas la siguiente expresión.

$$Q_{ACS,dst,prd,esp} = \beta_{ACS,esp} \cdot n_{ACS,tms} \cdot n_{ACS,ext} \quad 6-39$$

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 siguiente.

**Tabla 6.7:** Condiciones básicas para determinar  $\beta_{ACS,esp}$

Temperatura de agua caliente sanitaria	60 °C
Temperatura de entrada de agua fría	10 °C
Caudal de agua	12 l/min

- $n_{ACS,tms}$  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. Energía térmica recuperable 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:

$$Q_{ACS,dst,prd,rcb,CLF} = Q_{ACS,dst,ord} \cdot f_{ACS,dst,prd,rcb,CLF} + W_{ACS,dst,aux} \cdot f_{ACS,dst,aux,rcb,CLF} \quad 6-40$$

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 calificado del edificio, las pérdidas térmicas pueden ser recuperadas. Sin embargo, las pérdidas recuperables sólo pueden considerarse durante los períodos 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 calentadores<sup>84</sup>. Se analiza por tanto la norma 15316 3-3 [6.13].

### 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, en el 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 calcula mediante:

$$W_{ACS,gen,aux} = W_{ACS,gen,bmb} + W_{ACS,gen,dsp} \quad (\text{kWh/día}) \quad 6-41$$

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 (por ejemplo el control).

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[6.1], 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.

$$W_{ACS,gen,aux} = \frac{t_{ACS} \cdot P_{ACS,gen,nmn}}{1.000} \quad 6-42$$

donde

- $W_{ACS,gen,aux}$  Consumo de energía auxiliar de la caldera, en kWh/día
- $t_{ACS}$  Período 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:

$$W_{ACS,gen,aux} = \frac{\beta_{ACS,gen} \cdot t_{ON,CLF-ACS} \cdot P_{ACS,gen,nmn}}{1.000} \quad 6-43$$

donde

- $t_{ON,CLF-ACS}$  Tiempo de funcionamiento de la caldera a la potencia útil nominal, en h/día.

---

<sup>84</sup>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 [6.12].

- $P_{ACS,gen,aux,nmn}$  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 (-)

$$\beta_{ACS,gen} = \frac{t_{ACS}}{t_{ON,CLF-ACS}} = \frac{(Q_{ACS} + Q_{ACS,dst,prd} + Q_{ACS,dps,prd} + Q_{ACS,dst,prd,tub\ prc}) \cdot \alpha_{ACS,gen}}{3,6 \cdot t_{ON,CLF-ACS} \cdot \phi_{ACS,gen,nmn}} \quad 6-44$$

- $Q_{ACS,dst,prd}$  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. Calculado mas delante
- $Q_{ACS,dst,prd,tub\ prc}$  Pérdida térmica de los tubos principales (si hubiera), en kWh/día. Calculado más delante
- $\Phi_{ACS,gen,nmn}$  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 sólo existe un generador este valor valdría 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.

$$Q_{ACS,gen,aux,rcp} = k_{ACS,gen,aux,rcp} \cdot W_{ACS,gen,aux} \quad 6-45$$

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. Pérdidas térmicas

El generador de calor de un sistema de agua caliente sanitaria debe suministrar la energía necesaria para satisfacer la necesidad energética de agua caliente sanitaria y para compensar las pérdidas de los subsistemas de distribución.

Se distinguen en este apartado los sistemas de ACS que realicen un calentamiento de ACS de forma directa y de forma indirecta (en este caso hay que contabilizar además las pérdidas del depósito de acumulación  $Q_{ACS,dps,prd}$  y de los tubos principales  $Q_{ACS,dst,prd,tub\ prn}$ ).

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 período estival, cuando no hay demanda de calefacción de locales, y para el funcionamiento del período 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.

$$Q_{ACS,gen,sld,i} = \sum_i \alpha_{ACS,gen,i} \cdot Q_{ACS,gen,sld,i} = \sum_i \frac{Q_{ACS,gnr,nmn,i}}{\sum_j Q_{ACS,gnr,nmn,j}} \cdot Q_{ACS,gnr,sld,i} \quad (\text{kWh/día}) \quad 6-46$$

### 6.2.2.1. Calentamiento indirecto.

Se analizan en este apartado la pérdida térmica del acumulador de agua caliente (de servicio, calentamiento indirecto) y los tubos del circuito principal entre el generador de calor y el acumulador de agua caliente sanitaria.

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:

$$Q_{ACS,dps,prd} = \frac{T_{ag,acm,med} - T_{ACS,alr,med}}{\Delta T_{ACS,dps,ens}} \cdot Q_{ACS,dps,ens,prd} \quad (\text{kWh/día}) \quad 6-47$$

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 EN 12897[6.2].

Las pérdidas térmicas  $Q_{ACS,dst,prd,tub\text{ }prc}$  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 aparato<sup>85</sup>.

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 principal<sup>86</sup>.

### 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 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 [6.5]).

<sup>85</sup> 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 a la norma UNE EN 13203-2 [6.3] incluyen la pérdida térmica de los tubos del circuito principal.

<sup>86</sup> 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.

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  $Q_{ACS,1} < Q_{ACS,gen,sld} < Q_{ACS,2}$

$$\eta_{ACS,gen} = \eta_{ACS,2} - 0,0742 \cdot (\eta_{ACS,2} - \eta_{ACS,1}) \cdot (21,042 - Q_{ACS,gen,sld}) \quad 6-48$$

Y para uso de agua caliente sanitaria por encima de la media  $Q_{ACS,2} < Q_{ACS,gen,sld} < Q_{ACS,3}$

$$\eta_{ACS,gen} = \eta_{ACS,2} - 0,0478 \cdot (\eta_{ACS,3} - \eta_{ACS,2}) \cdot (Q_{ACS,gen,sld} - 21,042) \quad 6-49$$

Si  $Q_{ACS,gen,sld} < Q_{ACS,1}$  entonces  $Q_{ACS,gen,sld}$  se sustituye por  $Q_{ACS,1}$  en la ecuación anterior.

$$\eta_{ACS,gen} = \eta_{ACS,2} - 0,0742 \cdot (\eta_{ACS,2} - \eta_{ACS,1}) \cdot (21,042 - Q_{ACS,1}) \quad 6-50$$

Si  $Q_{ACS,gen,sld} > Q_{ACS,3}$  los resultados del ensayo pueden estar disponible 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)
- $\eta_{ACS,2}$  Rendimiento para el programa de extracción medio (Nº 2) con  $Q_{ACS,2} = 5,84$  kWh/día (21,04 MJ/día)
- $\eta_{ACS,3}$  Rendimiento para el programa de extracción alto (Nº 3) con  $Q_{ACS,3} = 11,65$  kWh/día (41,95 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 (situación más habitual) según las siguientes ecuaciones:

$$\text{Caldera estándar} \quad \eta_{ACS,gen} = \frac{87,5 + 1,5 \cdot \log \phi_{ACS,gnr,nnn}}{100} \quad 6-51$$

$$\text{Caldera de baja temperatura} \quad \eta_{ACS,gen} = \frac{91 + 1 \cdot \log \phi_{ACS,gnr,nnn}}{100} \quad 6-52$$

$$\text{Caldera de condensación} \quad \eta_{ACS,gen} = \frac{94 + 1 \cdot \log \phi_{ACS,gnr,nnn}}{100} \quad 6-53$$

$$\text{Caldera de condensación mejorada} \quad \eta_{ACS,gen} = \frac{94 + 1 \cdot \log \phi_{ACS,gnr,nnn}}{100} \quad 6-54$$

### 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.

$$Q_{ACS,dst,gen,rcb,CLF} = Q_{ACS,gen,ord} \cdot f_{ACS,dst,gen,rcb,CLF} + W_{ACS,gen,aux} \cdot f_{ACS,gen,aux,rcb,CLF} \quad 6-55$$

donde

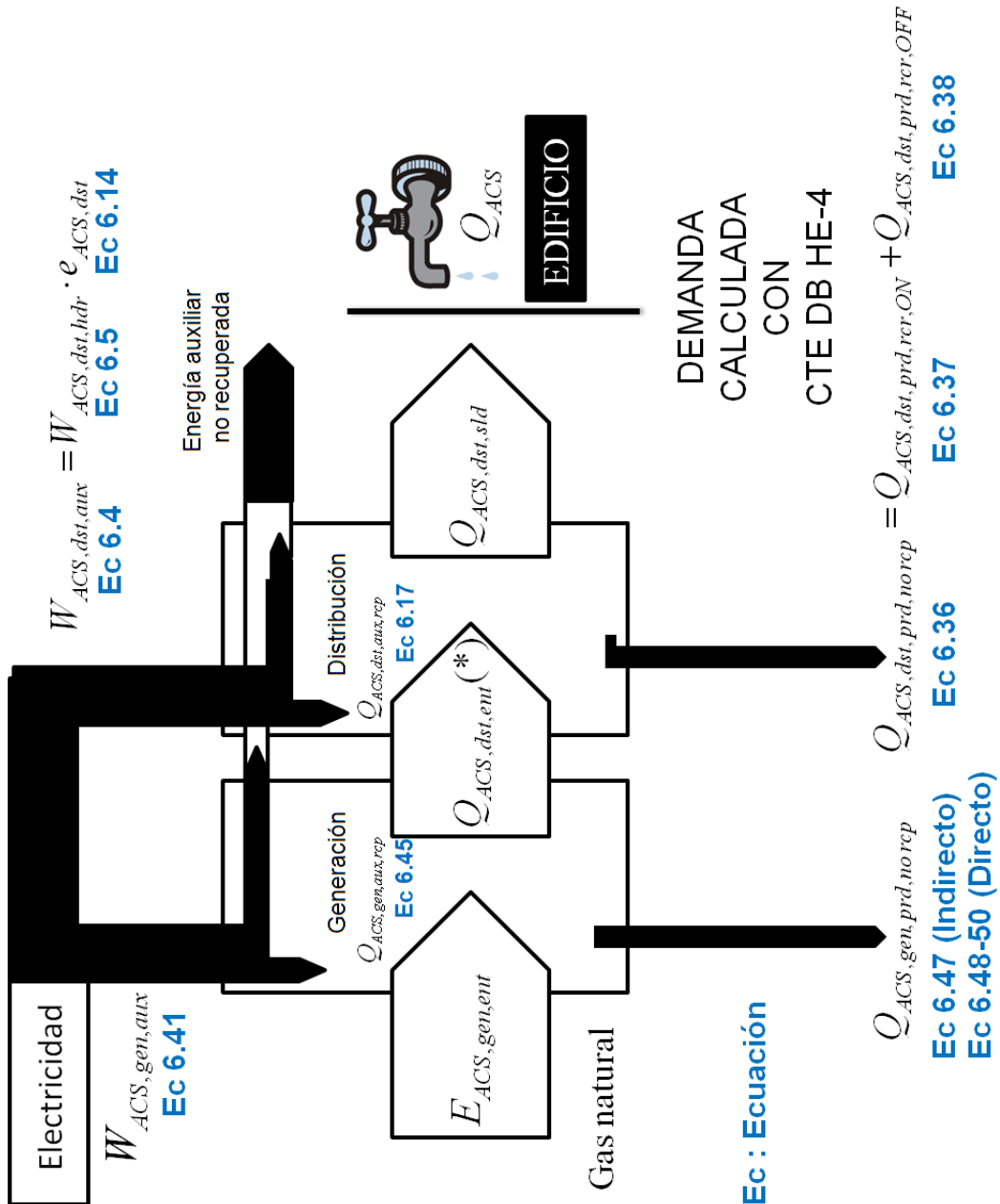
- $f_{ACS,gen,prd,rcb,CLF}$  Fracción de las pérdidas térmicas de generación recuperables para la calefacción de locales.
- $f_{ACS,gen,aux,rcb,CLF}$  Fracción del consumo de energía auxiliar de generación recuperable para la calefacción de locales.

Las fracciones dependen, por ejemplo, de la localización de los tubos, de la localización de la bomba, de la localización del recipiente acumulador, y de la duración del período de calefacción. Sin embargo, las pérdidas recuperables solo pueden considerarse durante los períodos 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 norma propone que las pérdidas del sistema no son recuperables para la calefacción de locales  $Q_{ACS,gen,prd,rcb} = 0$

### 6.3. Diagrama sinóptico

Se representa en este apartado un diagrama como un recurso instruccional que comunica al lector la estructura lógica de utilización de la información (ecuaciones) para el estudio de un edificio suponiendo que no existe calentamiento de tuberías ( $W_{ACS,dst,aux,tub-trc}$ ). Se representa este diagrama porque serán estas las ecuaciones que se utilizarán en los ejercicios teóricos y reales analizados.



(\*) Hay que restarle  $Q_{slr,sld,mns}$  si existe instalación de energía solar (ecuación 7-4)



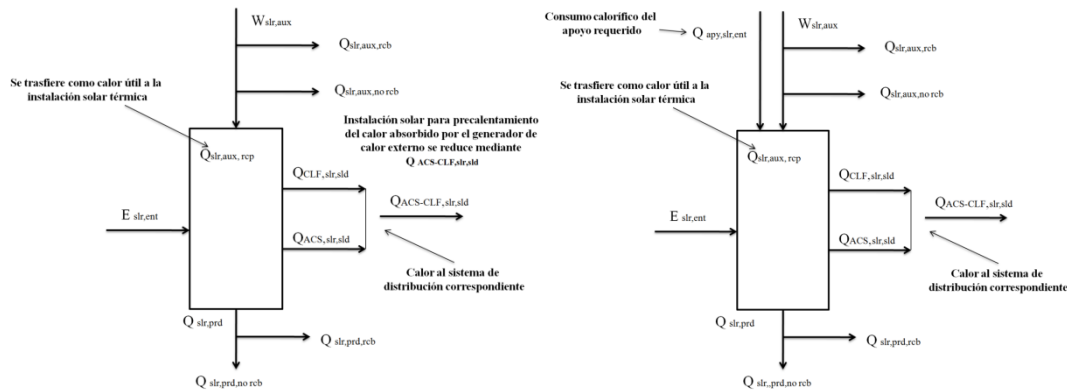
## 7. Sistemas solares térmicos

Los sistemas solares térmicos consisten en el aprovechamiento de la energía solar para producir calor que puede aprovecharse para agua caliente sanitaria o calefacción<sup>87</sup>.

La instalación solar térmica disminuye los consumos térmicos de los generados convencionales de generación de los servicios de calefacción y refrigeración y sus tiempos de funcionamiento.

Por el contrario aumenta el consumo de la 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 y 7.2 en función de si necesitan o no apoyo:



**Imagen 7.1:** Equilibrio térmico para una instalación solar para precalentamiento con y sin apoyo

### 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
$Q_{CLF,slr,aux,rbl}$	Energía eléctrica auxiliar para las bombas y dispositivos de control que se recupera. Parte de la energía eléctrica auxiliar que se recupera para calefacción
$Q_{slr,aux,rep}$	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
$Q_{slr,aux,no rbl}$	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
$Q_{CLF,slr,prd,recb}$	Pérdidas de calor de la instalación solar térmica que son recuperables para calefacción
$Q_{slr,prd,no rbl}$	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

<sup>87</sup>No es objeto de esta tesis pero puede emplearse también en una máquina de refrigeración por absorción, que emplea calor en lugar de electricidad para producir frío.

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<sup>88</sup> 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 cuantas 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 sólo 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. Sólo 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 y el volumen del depósito es multiplicando por un factor función de la energía absorbida por cada servicio y la total:

$$f_{slr,CLF/CLF+ACS} = \frac{Q_{CLF,slr,abs}}{Q_{CLF,slr,abs} + Q_{ACS,slr,abs}} \quad 7-2$$

$$f_{slr,ACS/CLF+ACS} = \frac{Q_{ACS,slr,abs}}{Q_{CLF,slr,abs} + Q_{ACS,slr,abs}} \quad 7-3$$

<sup>88</sup>En este método se considera que el calentador de apoyo no compensa las pérdidas del sistema de distribución de agua caliente sanitaria.

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 depósitos<sup>89</sup> 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:

$$Q_{slr,sl,d,mns} = (a \cdot Y + b \cdot X + c \cdot Y^2 + d \cdot X^2 + e \cdot Y^3 + f \cdot X^3) \cdot Q_{slr,dmd,mns} \quad 7-4$$

donde

- $Q_{slr,sl,d,mns}$  Calor solar útil obtenido durante el mes kWh
- $Q_{slr,dmd,mns}$  Calor mensual demandado 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 demandado 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 obtenido como se describió en los capítulos cinco y seis respectivamente.
- 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  $Q_{slr,dmd,mns}$ .
- 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  $Q_{slr,dmd,mns}$ .
- a...e Factores de correlación dependiendo del tipo de instalación (acumulación de agua). Los valores, calculados según el método f-chart, sino valores tipo de la tabla 7.1.
- f Factor de correlación específico del suelo radiante directo.

<sup>89</sup> 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.

**Tabla 7.1:** Coeficientes tipo de la instalación

Factores de correlación	Tipo de instalación	
	Acumulación de agua <sup>a</sup>	Suelo radiante solar <sup>b</sup>
a	1,029	0,863
b	- 0,065	- 0,147
c	- 0,245	- 0,263
d	0,0018	0,008
e	0,0215	0,029
f <sup>c</sup>	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.

- **X** Factor adimensionales que expresa la relación entre las pérdidas de energía del captador para una temperatura de referencia y la demanda total de calentamiento durante un mes (-). Depende de las prestaciones del captador, de la diferencia de temperatura y del volumen del depósito de acumulación (considerado por el coeficiente de corrección):

$$X = \frac{A_{cpt} \cdot U_{cpt} \cdot \eta_{cpt} \cdot \Delta T_{slr,rfr} \cdot f_{slr,dps} \cdot t_{slr,mes}}{Q_{slr,dmd,mns} \cdot 1.000} \quad 7-5$$

donde

- $A_{cpt}$  Superficie de apertura del captador. Norma EN 12975-2 [7.3] (m<sup>2</sup>)
- $U_{cpt}$  Coeficiente de pérdidas de calor del circuito de captación solar (captador y tubos) (W/(m<sup>2</sup>·K))

El coeficiente de pérdidas de calor del circuito de captación solar (transmitancia térmica), de los captadores y de los tubos se determina a partir de las características del captador y del aislamiento de los tubos. Se calcula mediante:

$$U_{cpt} = a_1 + a_2 \cdot 40 + \frac{U_{tbs,cpt}}{A_{cpt}} \quad 7-6$$

donde

- $a_1$  Coeficiente de pérdida de calor del captador solar en relación a la superficie de apertura. Norma EN 12975-2 [7.3]. Los valores tipo<sup>90</sup> 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)

los valores conservadores (de penalización) son<sup>91</sup>:

- $a_1 = 3 \text{ W/m}^2\text{K}$  (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)

<sup>90</sup>Para utilizarlos cuando el propósito es realizar el cálculo de una instalación solar térmica tipo

<sup>91</sup>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.

- $a_2$  Dependencia de la temperatura del coeficiente de pérdida de calor en relación a la superficie de apertura. Norma EN 12975-2 [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 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

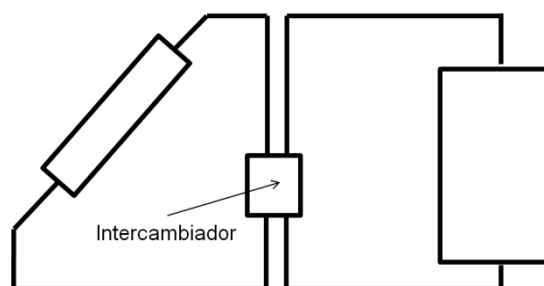
$$U_{\text{tbs,cpt}} = 5 + 0,5 \cdot A_{\text{cpt}} \quad 7-7$$

- $\eta_{\text{cpt}}$  Es el factor de eficiencia del circuito de captación solar teniendo en cuenta la influencia del intercambiador de calor (-) (si este valor sale 0,97 quiere decir que se necesita un 3% más de captación solar para paliar la incorporación del intercambiador de calor entre el circuito de energía solar y de consumo). Se calcula a partir de:

$$\eta_{\text{cpt}} = 1 - \frac{\eta_{\text{opt}} \cdot A_{\text{cpt}} \cdot a_1}{U_{\text{int}}} \quad 7-8$$

donde

- $\eta_{\text{opt}}$  Rendimiento óptico del captador establecido de acuerdo con la Norma EN 12975-2 [7.3].
- $A_{\text{cpt}}$  Superficie de apertura del captador ( $\text{m}^2$ )
- $a_1$  Coeficiente de pérdida de calor de primer orden del captador solar. Norma EN 12975-2 [7.3].
- $U_{\text{int}}$  Coeficiente de transferencia de calor del intercambiador de calor ( $\text{W/K}$ ).



**Imagen 7.2:** Instalación solar con intercambiador

Se puede tomar un valor para la eficiencia tipo del circuito de captación  $\eta_{\text{cpt}}$  igual a 0,9 y de penalización igual 0,83.

- $\Delta T_{\text{slr,rfr}}$  Diferencia de la temperatura de referencia (K)

$$\Delta T_{\text{slr,rfr}} = T_{\text{slr,rfr}} - T_{\text{ext,med}} \quad 7-9$$

donde

- $T_{\text{ext,med}}$  Temperatura media del aire exterior en un mes. Ver anexo III.

- $T_{slr,rfr}$  Temperatura de referencia dependiendo de la aplicación y del tipo de depósito de acumulación.

- Instalación de calefacción:  $T_{slr,rfr} = 100 \text{ °C}$
- Instalación de agua caliente sanitaria:

$$T_{slr,rfr} = 11,6 + 11,8 \cdot T_{slr,ACS} + 3,86 \cdot T_{red} - 1,32 \cdot T_{ext,med} \quad 7-10$$

donde

- $T_{slr,ACS}$  Temperatura de ACS que se establece en  $40 \text{ °C}$
- $T_{red}$  Temperatura de red ( $\text{°C}$ ) (idéntica para cada mes). Ver anexo III.

- $f_{slr,dps}$  Factor de corrección del volumen del depósito de acumulación.

En el caso del depósito de acumulación de agua, el coeficiente  $f_{slr,dps}$  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  $75 \text{ l}$  por  $\text{m}^2$  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  $V_{slr,nmn}$  (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.

- $T_{slr,mes}$  Duración del mes (h).

- **Y** Valor adimensional que expresa la relación entre la energía absorbida en la superficie del captador y la demanda total de calentamiento durante un mes (-). Depende de las prestaciones del captador y la irradiancia solar sobre el plano del captador:

$$Y = \frac{A_{cpt} \cdot IAM \cdot \eta_{opt} \cdot \eta_{cpt} \cdot I_{mns} \cdot t_{slr,mes}}{Q_{slr,dmd,mns}} \quad 7-14$$

donde

- **IAM** Modificador del ángulo de incidencia del captador =  $K_{50}(\tau\alpha)$  norma UNE EN 12975-2 [7.3]. Considera la variación de los valores de absorptividad ( $\alpha$ ) y transmisividad ( $\tau$ ) del captador en función de la inclinación del mismo (en ensayo siempre es a incidencia normal).

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.
- $\eta_{opt}$  Rendimiento óptico del captador norma UNE EN 12975-2 [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 período ( $kWh/m^2$ ) 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  $-20^\circ$  a la latitud  $+5^\circ$  desde la horizontal y no están ensombrecidos por ningún obstáculo. Valores descritos en el anexo III y obtenidas de la base de CLIMAMED.
  - 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  $20^\circ$  (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:

$$W_{slr,aux,mns} = P_{slr,aux} \cdot t_{slr,bmb,mns} \quad 7-15$$

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
- $t_{slr,aux,mns}$  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 Norma UNE EN 12976 [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  $UA_{slr,dps}$  (norma ENV 12977-3 [7.4]) (W/K).

$$UA_{slr,dps} = 0,16 \cdot (V_{slr,dps})^{0,5} \quad 7-18$$

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:

$$Q_{ACS,slr,dps,prd,mns} = \frac{UA_{slr,dps} \cdot (T_{ACS} - T_{alr,med}) \cdot \left( \frac{Q_{ACS,slr,sld,mns}}{Q_{ACS,slr,abs,mns}} \right) \cdot t_{slr,mes}}{1.000} \quad 7-19$$

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 calificado:  $T_{alr,med} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$
  - Si el depósito de acumulación solar se instala en un espacio no calificado:  $T_{alr,med} = T_{ext,med} + (20 \text{ }^\circ\text{C} - T_{ext,med}) / 2$
  - Si el depósito de acumulación solar se instala en el exterior:  $T_{alr,med} = T_{ext,med}$  (tabla anterior).

Para calefacción, las pérdidas de calor mensuales se calculan mediante:

$$Q_{CLF,slr,dps,prd,mns} = \frac{UA_{slr,dps} \cdot (T_{CLF} - T_{alr,med}) \cdot \left( \frac{Q_{CLF,slr,sld,mns}}{Q_{CLF,slr,abs,mns}} \right) \cdot t_{slr,mes}}{1.000} \quad 7-20$$



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:

$$\text{Tubos aislados} \quad Q_{apy,dst,prd,mns} = \frac{0,02 \cdot Q_{str,abs,med} \cdot Q_{str,sld,med}}{Q_{str,abs,med}} \quad 7-21$$

$$\text{Tubos no aislados} \quad Q_{apy,dst,prd,mns} = \frac{0,05 \cdot Q_{str,abs,med} \cdot Q_{str,sld,med}}{Q_{str,abs,med}} \quad 7-22$$

Las pérdidas totales de calor de la instalación solar térmica se calculan mes a mes, mediante:

$$Q_{str,prd,mns} = Q_{ACS,str,dps,prd,mns} + Q_{CLF,str,dps,prd,mns} + Q_{apy,dst,prd,mns} \quad 7-23$$

## 7.4. Energía térmica recuperable para calefacción

Parte recuperable de las pérdidas de la instalación. La parte recuperable del consumo de energía auxiliar de la bomba es del 50%.

La parte recuperable de las pérdidas de calor del depósito de acumulación solar y de las pérdidas de calor de distribución entre la instalación solar térmica y el calentador de apoyo podrían recuperarse sólo 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 calificado
- 50% si el componente está instalado en un espacio no calificado
- 0% si el componente está instalado en el exterior.

Las pérdidas recuperables totales de la instalación solar térmica se calculan mes a mes, mediante:

$$Q_{str,prd,rcb,mns} = Q_{str,aux,rcb} + Q_{str,dps,prd,rcb} + Q_{apy,dst,prd,rcb} \quad 7-24$$

## 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. Esta fracción solar se indica mes a mes, mediante:

$$f_{str,rdc,mns} = \frac{Q_{str,sld,mns}}{Q_{str,abs,mns}} \quad 7-25$$

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 mensual<sup>92</sup> 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 períodos, el generador o generadores de calor no solares (de apoyo) se pueden apagar y así se ahorran las pérdidas de calor<sup>93</sup>.

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 mediante<sup>94</sup>:

$$f_{slr,rdc,mns} < 0,8 \quad Q_{apy,dst,prd,mns} = Q_{apy,dst,prd,sin-sol,mns} \quad 7-27$$

$$f_{slr,rdc,mns} > 0,8 \quad Q_{apy,dst,prd,mns} = (1 - f_{slr,rdc,mns}) \cdot Q_{apy,dst,prd,sin-sol,mns} \quad 7-28$$

donde

- $Q_{apy,dst,prd,sin-sol,mns}$  Pérdidas mensuales de calor “nominales”<sup>95</sup> del generador o generadores de calor no solares (de apoyo) (kWh).

<sup>92</sup>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.

<sup>93</sup> Si se actúa de esta forma se debe garantizar en todo momento la seguridad microbiológica del agua caliente sanitaria.

<sup>94</sup> Se asume que el generador o generadores de calor no solares (de apoyo) no pueden apagarse durante un largo período si la fracción solar de calor absorbido por la instalación solar térmica (en base mensual) es inferior al 80% del calor total absorbido.

<sup>95</sup> 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. Análisis de la legislación española

La legislación española sobre eficiencia energética en edificios sigue las líneas que proponen dos Directivas europeas ya citadas:

- Directiva 2002/91/CE [8.1] y su refundición la Directiva 2010/31/UE [8.2] relativa a la eficiencia energética de los edificios.
- Directiva 2006/32/CE [8.3] sobre la eficiencia del uso final de la energía y los servicios energéticos derogada por la Directiva 2012/27/UE<sup>96</sup> [8.12].

La transposición en materia de edificación al ordenamiento jurídico español de la Directiva 2002/91/CE ha sido realizada mediante los siguientes Reales Decretos<sup>97</sup>:

- Real Decreto 314/2006 [8.4] por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación (CTE) y Orden FOM/1635/2013 de 10 de setiembre, por la que se actualiza el Documento Básico DB-HE. En este Real Decreto existe un Documento Básico de Ahorro de Energía con seis secciones:
  - DB HE-0, sobre la Limitación del Consumo Energético de Energía primaria no renovable del edificio.
  - 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 o fuente de energía renovable equivalente (mismo ahorro de energía primaria no renovable y emisiones de CO<sub>2</sub>).
  - DB HE-5, trata de la cantidad de energía que se debe generar en los edificios (terciarios) por paneles solares fotovoltaicos.
- Real Decreto 47/2007 [8.5] por el que se aprueba el procedimiento básico para la certificación energética de edificios de nueva construcción. Derogado por el Real Decreto 235/2013 [8.7] en la que el ámbito de aplicación es tanto para obra nueva como para obra existente.
- Real Decreto 1027/2007 [8.6] por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE) y su modificación publicada bajo el Real Decreto 238/2013 [8.13].

---

<sup>96</sup>La nueva Directiva de Eficiencia Energética surge en un marco en que se constata que la UE no va a alcanzar el objetivo de aumentar en un 20% la eficiencia energética en 2020. En este contexto ha sido necesario actualizar el marco legal de la UE en materia de eficiencia energética, creando un marco común, mediante una Directiva que refuerza el objetivo de alcanzar en 2020 un ahorro del 20% de energía, e incluso favoreciendo que las nuevas mejoras de eficiencia energética vayan más allá del 2020.

<sup>97</sup>Actualmente este en trámite de audiencia pública (las observaciones podrán remitirse hasta el 12 de febrero de 2014) el proyecto de Real Decreto por el que se transpone parcialmente la Directiva 2012/27/UE del Parlamento y del Consejo de 25 de Octubre de 2012, relativa a la eficiencia energética, en lo referente a auditorías energéticas, acreditación de proveedores de servicios y auditores energéticos, promoción de la eficiencia energética y contabilización de consumos energéticos, se encuentra en trámite de audiencia

Los requisitos mínimos de eficiencia energética en los edificios a los que se refieren la Directiva 91 están transpuestos de forma conjunta limitando el consumo de energía primaria de origen fósil (no renovable) en el documento HE-0, y de forma independiente a través de los otros documentos, limitando, por un lado, la demanda térmica, por otro las prestaciones de los sistemas térmicos y de iluminación, fomentando además aquellos sistemas térmicos que consuman energías renovables y finalmente impulsando la utilización de energías renovables para la generación de energía eléctrica *in situ* o en las cercanías del edificio:

- **LIMITACION DEL CONSUMO** mediante el CTE DB HE-0 se limita consumo de energía primaria no renovable de edificios de nueva construcción y ampliaciones. Mediante el RD 235/2013 se fomenta la construcción y rehabilitación de edificios más eficientes además de informar a los potenciales compradores o arrendatarios del estado energético de un edificio o vivienda.
- **DEMANDA TERMICA:** 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<sup>98</sup> para evitar conseguir edificios con bajos consumos energéticos legislados solo a base de equipos térmicos muy eficientes.
- **SISTEMAS TERMICOS:** 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<sup>99</sup>.

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 ILUMINACION:** El CTE DB HE-3 obliga al cumplimiento de un valor mínimo de eficiencia energética de la instalación VEEI ( $W/m^2 \times 100 \text{ lux}$ ) diferente en función de la zona de actividad del edificio y la potencia máxima instalada en función del uso. También legisla sobre el control y el aprovechamiento de la luz natural.
- **GENERACION DE ENRGIA ELECTRICA A TRAVES DE FUENTES RENOVABLES:** El CTE DB HE-5 obliga a la generación de energía eléctrica a través de paneles fotovoltaicos, u otra fuente renovable, a unos tipos de edificios en función de su superficie útil.

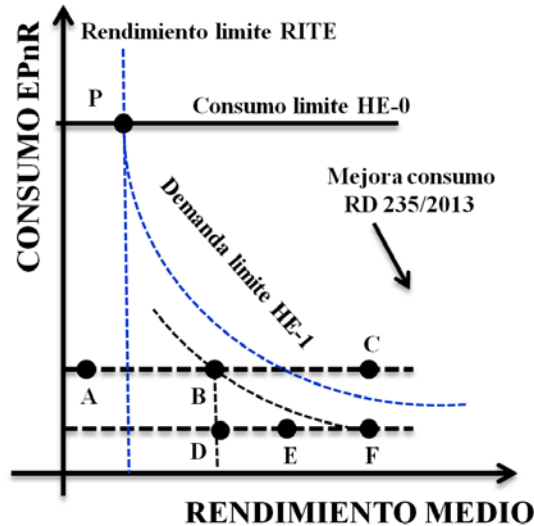
Como se puede comprobar el consumo de energía de los edificios también se regula de forma indirecta a través de la envolvente y los sistemas de climatización. Limitar de forma indirecta el consumo mediante exigencias mínimas sobre demanda y rendimiento es acertada pues evita conseguir niveles de consumo mínimo legislados con envolventes térmicas de los edificios o sistemas ineficientes.

La imagen 8.1 representa tres edificios (A, B y C) con el mismo nivel de consumo, aunque sólo el B cumpliría la legislación actual (al cumplir, además del consumo límite, punto P, los niveles mínimos de demanda y de rendimiento).

---

<sup>98</sup>En el caso de edificios de uso residencial privado también se limitan las descompensaciones térmicas y en todos los edificios la aparición de condensaciones, tanto intersticiales como superficiales.

<sup>99</sup>Quizás este reglamento ha quedado deficiente en la regulación de estos requisitos mínimos pues no quedan bien definidos o son inexistentes para algunos equipos y sistemas. La última modificación del RITE palia de alguna forma esto indicando ciertos niveles de eficiencia para calderas y generadores de frío por compresión mecánica.



**Imagen 8.1:** Requisitos mínimos de consumo para edificios de nueva construcción

El consumo máximo de energía primaria no renovable queda fijado por el punto P y resulta, que edificios como el A y el C, con consumos inferiores, incumplan sin en cambio, la legislación vigente.

La certificación energética de edificios (RD 235/2013) es el mecanismo encargado de fomentar los edificios más eficientes, disminuyendo su consumo energético, mejorando los requisitos mínimos legislados para edificios de nueva construcción. Por ejemplo, el edificio D (imagen 8.1), mejorando sólo la demanda, el E mejorando sólo la eficiencia de los equipos, o el F mejorando ambas cosas.

La certificación energética de edificios nuevos es aplicable a edificios de nueva construcción y a modificaciones, reformas o rehabilitaciones de edificios existentes, con una superficie útil superior a 1.000 m<sup>2</sup> donde se renueve más del 25% del total de sus cerramientos. Se ceden las competencias a las Comunidades Autónomas<sup>100</sup> sobre el registro, control externo y la inspección de los certificados de eficiencia energética.

La certificación de eficiencia energética de edificios existentes<sup>101</sup> es obligatoria desde el 1 de junio de 2013. EL Real Decreto 235/2013 difiere fundamentalmente, con el borrador publicado en noviembre de 2008, en que ahora se exige el certificado sólo en los contratos de compraventa o arrendamiento, total o parcial, celebrados a partir del 1 de junio de 2013 y que no tengan ya un certificado (evidentemente no deben cumplir el CTE HE 2006 y RITE 2007). El anterior proyecto alargaba esos plazos hasta 6 años, tiempo tras el cual debían empezar a certificarse todos los edificios y la obligación dependía de la potencia térmica instalada.

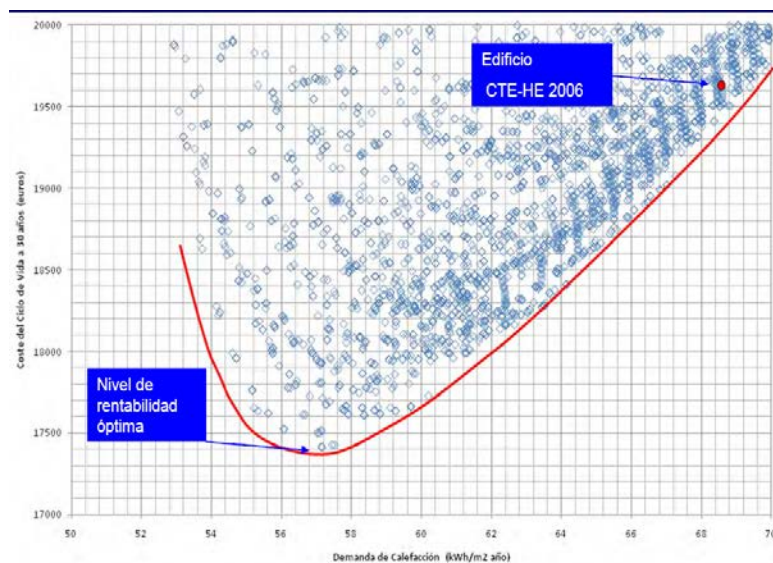
<sup>100</sup> Hay que destacar la importancia que tiene en la implantación de la certificación energética el desarrollo del registro, control e inspección de las mismas. Situación que se endurecerá con las nuevas obligaciones que impone la refundición de la Directiva de eficiencia energética en los edificios, que entre otras cuestiones obliga a realizar un control aleatorio estadísticamente significativo y que deberán realizar las Comunidades Autónomas. Actualmente hay muy pocas Comunidades Autónomas que tengan totalmente desarrollado este RD.

<sup>101</sup> Edificios o partes de edificios ocupados por la autoridad pública y que sean frecuentados habitualmente por el público deberán obtener un certificado de eficiencia energética y tendrán la obligación de exhibir su etiqueta de eficiencia energética a partir de 1 de junio de 2013 cuando su superficie útil total sea superior a 500 m<sup>2</sup> y desde el 9 de julio de 2015 cuando su superficie útil total sea superior a 250 m<sup>2</sup>, y desde el 31 de diciembre de 2015, cuando su superficie útil total sea superior a 250 m<sup>2</sup> y esté en régimen de arrendamiento. Las certificaciones de edificios pertenecientes y ocupados por las Administraciones públicas podrán realizarse por técnicos competentes de sus propios servicios técnicos.

Una de las nuevas exigencias de la Directiva 2010/31/UE [8.2] es conseguir que en el año 2021<sup>102</sup> todos los edificios que se construyan sean de consumo de energía casi nulo<sup>103</sup> (EECN).

Para esto la Directiva completa aspectos ya tratados en la Directiva 2002/91/CE [8.1] y realiza novedades:

- Mantiene la obligación de regular unos requisitos mínimos de eficiencia energética para los edificios. Lo novedoso es que estos se deben fijar de acuerdo con un marco metodológico comparativo común [8.10] en base a un nivel óptimo de rentabilidad donde se tendrán en cuenta los costes de inversión, mantenimiento, operación, energía calculados para el periodo de vida útil del edificio. De esta forma se tiene que alcanzar un equilibrio óptimo de rentabilidad entre las inversiones realizadas y ahorros económicos obtenidos a lo largo del ciclo de vida del edificio.



**Imagen 8.2:** Nivel de rentabilidad óptimo. Fuente: Presentación de D. Servando Álvarez del congreso de Energía Casi Nulo. Mayo 2012.

- Establece un indicador común en términos de energía primaria (actualmente en España se utiliza este indicador para limitar el consumo de energía primaria no renovable y también se da como indicador energético en la certificación energética aunque sin valor)
- Endurece las nuevas obligaciones que impone realizar un control aleatorio estadísticamente significativo (que deberán realizar las Comunidades Autónomas).
- Cada Estado Miembro, deberá de reflejar sus condiciones nacionales, regionales o locales e incluir un indicador numérico de uso de energía primaria expresado en kWh/m<sup>2</sup> al año para un edificio de energía casi nulo<sup>104</sup>. Además deberán de definirse unos objetivos intermedios para el año 2015 de cara a mejorar la eficiencia energética de los edificios nuevos.

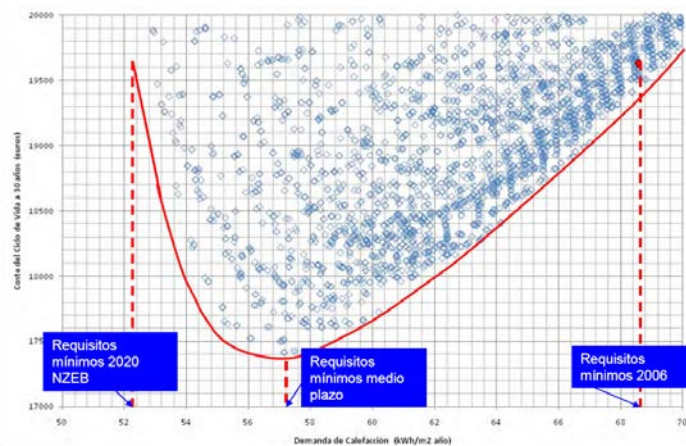
<sup>102</sup> Observar que los EECN no contribuyen al objetivo 20/20/20 para el 2020.

<sup>103</sup> El artículo 9 de la Directiva indica que todos los edificios construidos en los distintos Estados miembros a partir del 31 de diciembre de 2020, deberán de ser edificios de consumo de energía casi nulo, adelantándose esta exigencia al 31 de diciembre de 2018 para los edificios nuevos que estén ocupados y sean propiedad de autoridades públicas.

<sup>104</sup> Son edificios de consumo de energía casi nulo [8.2] aquellos, con un nivel de eficiencia energética muy alto, en los que la cantidad casi nula o muy baja de energía requerida debería estar cubierta, en muy amplia medida, por energía procedente de fuentes renovables, incluida energía procedente de energías renovables producida in situ o en el entorno. Decir que la directiva no ayuda mucho en la definición exacta de lo que es un EECN.

En España se ha comenzado a definir la hoja de ruta que deberá guiarnos hacia los objetivos marcados por la refundición de la Directiva 2010/31/CE y en este sentido se ha iniciado el proceso de modificación tanto de los requisitos mínimos de eficiencia energética del Código Técnico de la Edificación como del RITE como sigue [8.11]:

1. 2014, se legisla conjuntamente los niveles mínimos de eficiencia energética con la calificación energética, dotando de coherencia y unidad al proceso legislativo. Aun así se mantendrán los índices de indicación energética desagregados, para demanda y para sistemas.
2. 2015, eliminar la medida auto-referente<sup>105</sup> adaptando un único indicador en términos de energía primaria no renovable (no CO<sub>2</sub>) manteniendo los indicadores parciales para, por ejemplo, con una fuente de energía primaria renovable, un edificio consiga una calificación energética A y no aisle el edificio. Se conseguirán edificios de alta eficiencia energética como antesala de los edificios de energía casi nula (ningún valor concreto de kWh se ha definido aun).
3. 2020, consecución de los edificios de energía casi nula (EECN).



**Imagen 8.3:** Objetivo intermedio y objetivo final. Fuente: Presentación de D. Servando Álvarez del congreso de Energía Casi Nula. Mayo 2012.

La Directiva 2012/27/UE<sup>106</sup> [8.12] fomenta la eficiencia del uso final de la energía mediante las auditorías energéticas, que según la directiva, es el procedimiento para obtener el perfil de consumo de energía existente de un edificio, instalación industrial o un servicio, y determinar y cuantificar las posibilidades de ahorro de energía rentables. La transposición de la Directiva debe hacerse en 18 meses (4 de diciembre de 2012 a 5 de junio de 2014) y para ello existen diversos hitos que cumplir, con diferentes fechas de desarrollo.

A 31 de diciembre de 2013, por ejemplo, se ha finalizado ya un inventario de edificios del Gobierno Central que arroja que su consumo medio de energía es de 100 kWh/m<sup>2</sup> y actualmente este en trámite de audiencia pública (las observaciones podrán remitirse hasta el 12 de febrero de 2014) el proyecto de Real Decreto por el que se transpone parcialmente la Directiva 2012/27/UE del Parlamento y del Consejo de 25 de Octubre de 2012, relativa a la eficiencia energética, en lo referente a auditorías energéticas, acreditación de proveedores de servicios y auditores energéticos, promoción de la eficiencia energética y contabilización de consumos energéticos, se encuentra en trámite de audiencia.

<sup>105</sup>Actualmente en Francia, *Loi Grenelle*, se limita el consumo de energía primaria en 50 kWh/m<sup>2</sup> año.

<sup>106</sup>Aunque España publicó en contra de la publicación de esta Directiva, España tiene el firme compromiso de cumplir con todas las obligaciones derivadas de la misma. De hecho, y aunque la Directiva fue publicada en el DOUE el 14 de noviembre de 2012, el Ministerio de Industria lleva desarrollando tareas de trasposición desde junio del mismo año.

La Directiva 2012/27/UE [8.12] intenta también solucionar interferencias administrativas, lo que sucede por ejemplo, en el presupuesto del sector público, donde la partida destinada a inversión en tecnologías consumidoras de energía es diferente de la destinada al mantenimiento y suministro energético de estos mismos equipos. Esta división en áreas incomunicadas plantea dificultades a la hora de renovar el equipamiento con criterios de eficiencia energética.

En España existe un impulso por las empresas de servicio energético (ESEs), que utilizando la auditoria energética como herramienta inicial de diagnóstico energético, ejecuta las medidas de ahorro energético (MAEs) y mantiene el edificio, durante un tiempo acordado bilateralmente con la propiedad, cobrando sus beneficios de los ahorros energéticos.

Dentro de la Administración Pública se han aprobado dos planes que tratan de potenciar las ESEs en el sector edificios:

- Plan de Activación de la eficiencia energética en los edificios de la Administración General del Estado: publicado el 14 de enero de 2010 conocido como Plan 330 ESEs, aprobado por el Consejo de Ministros el 11 de diciembre de 2009. Su objetivo es conseguir que 330 centros consumidores de energía, pertenecientes a la Administración General del Estado, reduzcan su consumo de energía en un 20% en el año 2016, mediante la realización de medidas de ahorro y eficiencia energética, bajo la modalidad de contratos de servicios energéticos, realizadas por empresas de servicios energéticos (ESEs).
- Plan de impulso a la contratación de servicios energéticos (Plan 2000 ESEs): aprobado por el Consejo de Ministros de 16 de julio de 2010. El objeto de este nuevo plan es conseguir un ahorro energético en 2.000 centros consumidores de energía de propiedad pública. El Plan se desglosa en tres subprogramas de actuación en función de la titularidad de los centros consumidores de energía: Subprograma Administración Local, Administración Autonómica y Administración General del Estado.

## 8.1. Edificios de energía casi nula (EECN)

A pesar de no haberse definido, por el momento, las condiciones que un edificio de consumo de energía casi nulo deberá de cumplir en España todos los edificios construidos a partir de 2021 deben de ser de este tipo. Aun así se puede hacer una estimación de la demanda de energía que este tipo de edificios deberían de tener en base a la actual escala de calificación de eficiencia energética de edificios.

Los actuales procedimientos de calificación energética de edificios calculan el consumo de energía final, primaria, y las emisiones de dióxido de carbono, para cada distinto uso del edificio, comparándose este, con una escala definida de valores fijos para el caso de viviendas unifamiliares [8.8] y en bloque [8.8] (ver anexo II apartado 14.7 *Valores de referencia*) en función de la zona climática y con la de un edificio de referencia que cumple estrictamente la normativa del año 2006 para edificios terciarios.

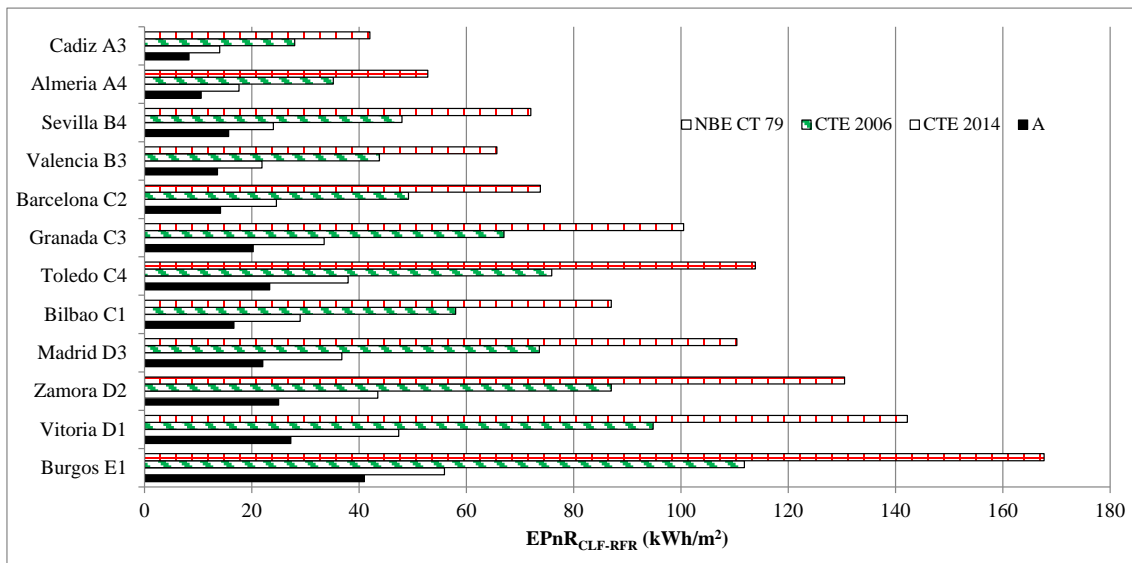
En base a la escala de calificación de eficiencia energética de los edificios, definida ya para el caso de España, tanto para edificios nuevos como existentes, pueden inferirse, de forma aproximada, los ahorros que supone la construcción de nuevos edificios siguiendo la normativa actual y los que supondrán la aplicación de la Directiva 2010/31 [8.2].

Para el caso de los servicios de calefacción y refrigeración para edificios en bloque (en viviendas unifamiliares las conclusiones son las mismas) se tiene, para cada una de las zonas climáticas en las que se ha dividido el territorio español<sup>107</sup>, los siguientes consumos de energía primaria por metro cuadrado de superficie útil.

---

<sup>107</sup> Valores estimados con las zonas climáticas del CTE 2006.



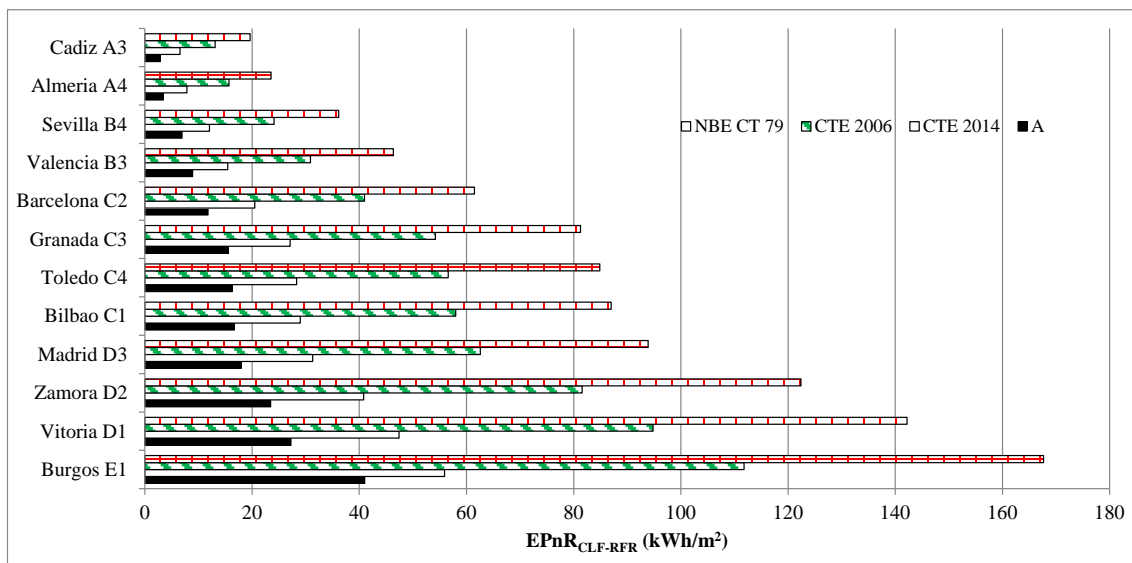


**Imagen 8.4:** Consumo de energía primaria no renovable (calefacción y refrigeración) para bloques

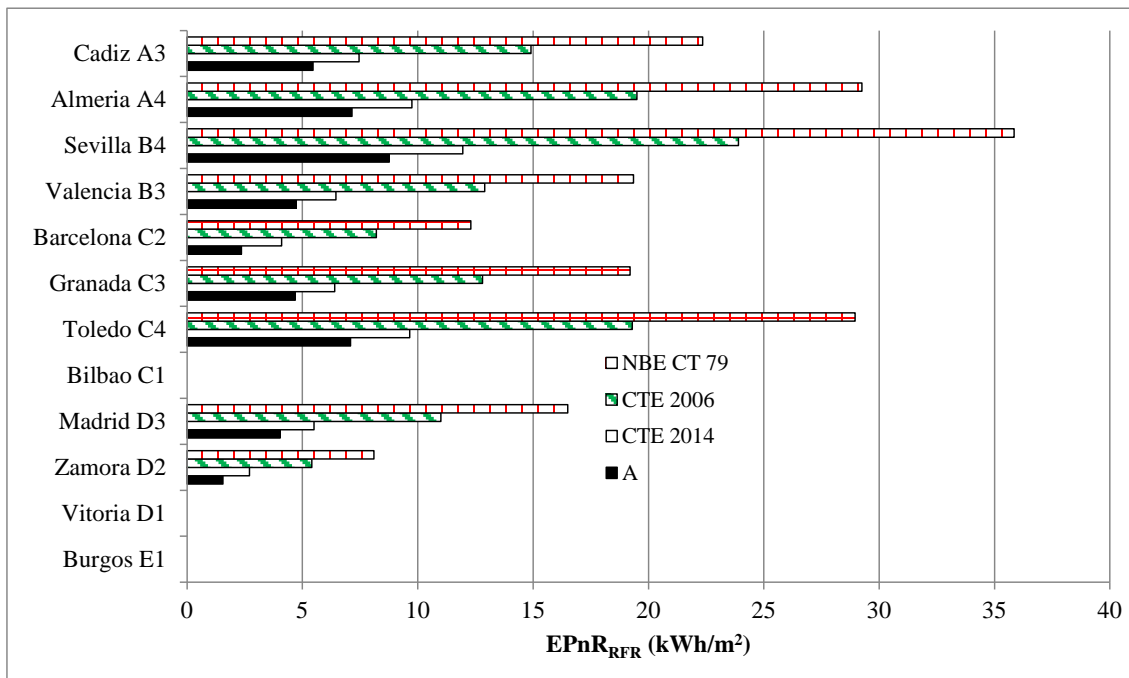
Puede observarse que el ahorro de energía primaria no renovable, en calefacción y refrigeración, entre un edificio existente en el año 2006 (aplicaba la NBE CT-79 [8.9]) y un edificio que cumpla estrictamente el Código Técnico de la Edificación es de aproximadamente un 30%, siendo este porcentaje del 70% para edificios que cumpla estrictamente el Código Técnico de la Edificación del año 2006 y un edificio clase A. El nivel de descenso entre un edificio que cumpla el CTE 2006 con uno que cumpla el CTE 2014 es de aproximadamente un 50%.

Por tanto, si tomamos como base, que la definición de edificio de consumo casi nulo debería de basarse en el trabajo ya desarrollado en el ámbito de la calificación de eficiencia energética de edificios y suponemos que no debería de implicar algo muy distinto a lo que actualmente se considera clase A, a partir del año 2021 todos los edificios de vivienda construidos en España deberían de tener un consumo de energía primaria un 70% inferior a los edificios construidos bajo la normativa actual (CTE 2006).

Un estudio particularizado para la demanda de calefacción y de refrigeración determina iguales porcentajes de consumo de energía primaria (imágenes 8.5 y 8.6).



**Imagen 8.5:** Consumo de energía primaria no renovable (EPnR) en calefacción, edificios en bloque



**Imagen 8.6:** Consumo de energía primaria no renovable (EPnR) en refrigeración, edificios en bloque

Para el caso de edificios terciarios, la escala es autorreferente, no obstante, dada la misma, los porcentajes de ahorro sobre un edificio representativo del stock en el año 2006 (aplica NBE CT-79), uno que cumpla estrictamente la normativa actual (CTE 2006) y un edificio de consumo de energía casi nulo son, aproximadamente, los mismos que para el caso de las viviendas.

## 8.2. Programas de simulación computacional (PSC)

En España existen varias herramientas para dar cumplimiento a los anteriores Reales Decretos bajo una de las dos siguientes opciones<sup>108</sup>:

- a) **La opción general**, de carácter prestacional, a través de un programa informático que en nuestro país actualmente puede ser alguno de los siguientes: CALENER VyP o CALENER GT dependiendo del tipo de instalación del edificio. Estos programas son válidos tanto para edificación nueva como existente<sup>109</sup>.
- b) **La opción simplificada**, de carácter prescriptivo que desarrolla la metodología de cálculo de una manera indirecta. Actualmente existe cuatro métodos reconocidos por la administración simplificados CERMA, Ce1, Ce2 para viviendas (actualmente está en información pública el programa CES PT para edificios terciarios que puedan ser certificados por CALENER VyP) de nueva construcción, Ce3, CE<sup>3x</sup> para todos los tipos de edificios existentes (parece lógico que en un futuro estos programas también sirvan para certificar edificios nuevos sin más que adaptar la metodología de estos a la nueva construcción) y CERMA también para viviendas existentes.

Los programas simplificados son modelos abreviados del programa CALAENR VyP (generalmente no se define el edificio en tres dimensiones y muchas de las propiedades se asumen por defecto), salvo el programa Ce3 que cuando se certifica un edificio gran terciario es una simplificación del programa CALENER GT (se elimina la definición de los circuitos hidráulicos).

<sup>108</sup> Actualmente también se encuentran alojados bajo una única plataforma, HERRAMIENTA UNIFICADA LIDE-CALENER.

<sup>109</sup> La envolvente del edificio se introduciría con el programa LIDER.

**Tabla 8.1:** Matriz legislativa para cumplir la legislación energética de edificios en España.

Vía	GENERAL			SIMPLIFICADA					
Tipo edificio	VIVIENDA	PEQUEÑO Terciario	GRAN Terciario	VIVIENDA	PEQUEÑO Terciario	GRAN Terciario			
NUEVOS	CALENER VyP			CALENER GT			Ce1		
							Ce2		
							Ce3*		
							CE <sup>3</sup> x*		
							CERMA	-	
EXISTENTES				Ce3					
				CE <sup>3</sup> x					
<sup>1</sup> Pendiente de ser Documento Reconocido <sup>2</sup> Pendiente de ser reconocido por la administración española. No están indicados los programas derivados de las capacidades adicionales y soluciones singulares									

La aplicabilidad de los programas CALENER, tienen limitaciones derivadas de la existencia de componentes, equipos y/o sistemas que no puedan ser introducidas.

Para solventar este problema están las Capacidades Adicionales para introducir tecnologías no incorporadas en los programas. Actualmente existen en España las siguientes Capacidades Adicionales<sup>110</sup>:

- ICE: Programa informático para el cálculo del rendimiento medio estacional de sistemas basados en bombas de calor geotérmicas. Es de aplicación para todo tipo de edificios, cualesquiera que sean sus condiciones de operación y en todas las zonas climáticas españolas. Es ya un Documento Reconocido de la certificación energética.
- SICAR: Programa informático para el cálculo del rendimiento medio estacional de sistemas de refrigeración basados en la tecnología de absorción con aporte energético procedente de energías renovables. Es de aplicación para todo tipo de edificios, cualesquiera que sean sus condiciones de operación y en todas las zonas climáticas españolas. Documento propuesto a ser Reconocido.
- UPOSoft: Programa informático para el cálculo comparativo de los consumos anuales obtenidos, entre un mismo edificio que utiliza sistemas convencionales de climatización frente a sistemas de climatización por superficies radiantes, al modificarse la temperatura del aire para una misma temperatura operativa. Es de aplicación para todo tipo de edificios, cualesquiera que sean sus condiciones de operación y en todas las zonas climáticas españolas. Documento propuesto a ser Reconocido.
- CertCHP: Módulo de cálculo que se acopla a las herramientas oficiales de certificación energética de edificios y permite calificar edificios con sistemas de microgeneración. Documento aun no propuesto a ser Reconocido.

Estas Capacidades Adicionales necesitan los valores horarios de demandas o los valores de consumos de sistemas convencionales a los que sustituyen. Para esto existe la herramienta (Documento Reconocido) PostCALENER<sup>111</sup> que es un software para gestionar la inclusión de soluciones singulares y capacidades adicionales relativas a instalaciones y sistemas en CALENER VyP y CALENER GT. Los objetivos básicos del PostCALENER son los siguientes:

<sup>110</sup> Actualmente se está trabajando en alojarlas todas bajo una única plataforma junto con los programas CALENER.

<sup>111</sup> Actualmente se está trabajando en alojarlas todas bajo una única plataforma junto con los programas CALENER.

1. Suministrar los datos de entrada (anuales, mensuales u horarios) a terceras aplicaciones o métodos, para que a partir de los mismos puedan calcular el consumo energético de instalaciones o sistemas no incluidos en los CALENER
2. Modificar la calificación incorporando los resultados de los componentes simulados/calculados con terceras aplicaciones o métodos, obteniendo una nueva calificación modificada del edificio

CALENER VyP y CALENER GT son dos programas de simulación dinámica pero sus motores de cálculo son diferentes. CALENER VyP es una extensión del programa LIDER (opción general para el cumplimiento del CTE DB HE-1 2006) que estima la demanda energética horaria y la simulación de los sistemas se realiza con el programa ESTO 2 (entorno de simulación térmica de objetos).

CALENER GT tiene un motor de cálculo propio para calcular la demanda energética y el consumo de los sistemas DOE 2.2 (aun así, y dado que el edificio antes ha de cumplir el CTE DB HE-1) el programa LIDER sirve como pasarela para introducir la geometría en el programa CALENER GT.

En el anexo II *Descripción de los programas de certificación (PSC)* se describen las características funcionales y grados de libertad de los programas descritos en la tabla 8.1.

## 9. Aplicación de la metodología de las normas CEN

Se comparan en este capítulo los valores estimados de consumo de energía mediante los procedimientos propuestos por las normas del Comité Europeo de Normalización (CEN), descritos y sintetizados en los anteriores capítulos, y los programas de simulación computacional (PSC) utilizados en la certificación energética en nuestro país (descritos detalladamente en el anexo II), analizando su semejanza o equivalencia.

### 9.1. CEN vs PSC

Se realiza en este apartado una comparación entre los valores estimados de consumo para los servicios de calefacción y ACS obtenidos de la simulación computacional con CALENER y los valores estimados con los procedimientos desarrollados en las normas CEN, tomando como base el edificio e instalaciones del ejercicio de aplicación desarrollado en el anexo VII.

En el caso del programa CALENER VyP la comparación es directa, en tanto que, los valores de demanda de los que se parte en el ejercicio de aplicación del anexo VII son los estimados en este programa, cuyo motor de cálculo para obtener la demanda es el LIDER, y la comparación de consumos por tanto es inmediata (se parte de la misma demanda inicial).

En el caso del programa CALENER GT la comparación no es tan directa. Los valores de demanda de los que se deben de partir para la estimación del consumo a través de la metodología descrita en las normas CEN, tienen que ser, los que se obtienen a través del motor de cálculo que utiliza CALENER GT (los datos iniciales de demanda deben ser los mismos para realizar la comparación), es decir, DOE 2.2, y no LIDER como en el caso anterior<sup>112</sup>.

Otro problema añadido (para realizar la comparación de forma consistente) es que los coeficientes ocupacionales y funcionales utilizados en LIDER (descritos en el anexo II apartado 14.2 *Características ocupacionales y funcionales*) no son editables y además son diferentes a los que preestablece CALENER GT para el uso de viviendas. Para subsanar esto, y como se mencionó en el anexo II, en el programa CALENER GT, se redefinen todos estos coeficientes para que sean iguales a los tomados por defecto en LIDER<sup>113</sup>.

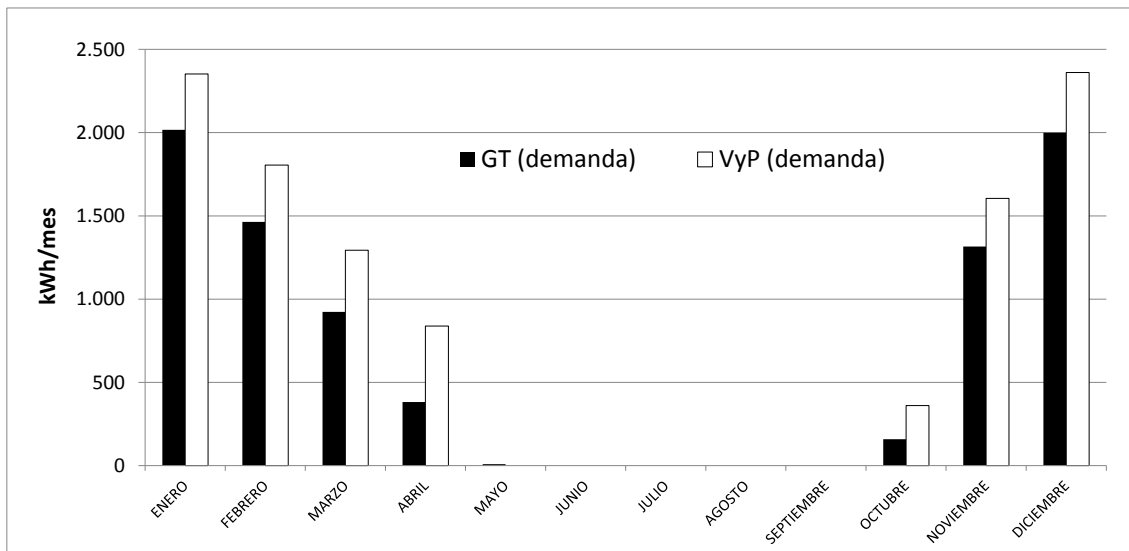
Realizando estos cambios, la simulación computacional muestra que en el programa CALENER GT los valores de demanda (aun considerando los mismos coeficientes ocupacionales y funcionales y mismos valores de ventilación) son menores que en CALENER VyP<sup>114</sup>.

---

<sup>112</sup>La estimación de la demanda realizada por LIDER y CALENER GT es diferente.

<sup>113</sup> Descritos en el anexo II.

<sup>114</sup> Probablemente porque en el programa CALENER GT no se consideran los puentes térmicos de la envolvente.



**Imagen 9.1:** Comparación de demanda en LIDER y GT

### 9.1.1. CEN vs CALENER VyP

Como se advirtió en la descripción de los programas en el anexo II de este trabajo, la estimación de el consumo en el programa CALENER VyP se realiza corrigiendo exclusivamente las prestaciones nominales hora a hora (con las curvas correctoras expuestas descritas en el anexo II apartado 14.4 *Definición de sistemas en CALENER VyP*) de los generadores térmicos. Además la única corrección que se realiza es en función del estado de carga del generador (para cada hora, el cociente de la demanda del edificio y la potencia máxima que puede entregar en esa hora el generador), no analizando las pérdidas térmicas que en las arrancadas o paradas del generador pudieran existir o las pérdidas térmicas que existen cuando el generador está en estado de disposición<sup>115</sup> ( $t_{CLF,ON-OFF}-t_{CLF,ON}$ ).

Aunque si se pregunta por la temperatura de impulsión de los generadores, esta variable luego no se tiene en cuenta para corregir hora a hora sus prestaciones<sup>116</sup>, como tampoco se tiene en cuenta las pérdidas térmicas en el subsistema de distribución y su regulación.

En cuanto al subsistema de emisión sólo se pregunta por su potencia térmica, pero no por su ubicación, control o tipología; no cuantificándose por tanto las pérdidas térmicas que se produjeran por estas variables.

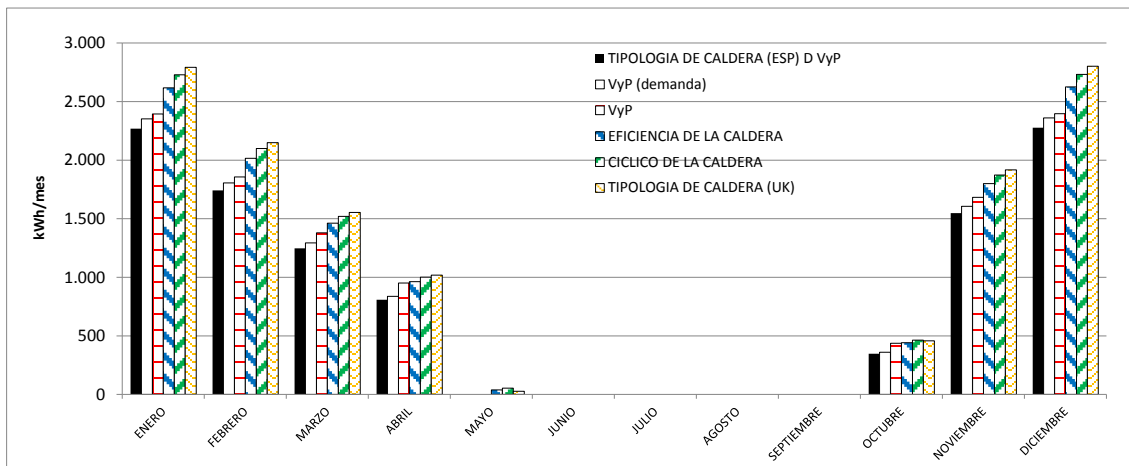
Por tanto en el programa CALENER VyP no se analizan las pérdidas térmicas en los subsistemas de emisión y distribución y, en los subsistemas de generación, solamente se tiene en cuenta, a través de la corrección del rendimiento nominal hora a hora en función del estado de carga durante sus horas de funcionamiento.

Parece lógico entonces que al comparar la estimación del consumo energético de las instalaciones térmicas, los valores obtenidos por la metodología propuesta por las normas CEN y el calculado por el programa CALENER VyP sean diferentes aunque se parta de la misma demanda inicial.

En el siguiente gráfico se representan mensualmente los consumos obtenidos por los tres métodos de estimación de las normas CEN (tipología<sup>117</sup>, eficiencia y cíclico) y el obtenido en CALENER VyP (también se representa el valor de demanda inicial, barra roja del gráfico).

<sup>115</sup> Como así ocurre en la metodología descrita en las normas CEN.

<sup>116</sup> Realmente si se tiene en cuenta pero por defecto vale uno.



**Imagen 9.2:** Comparación de consumos en CALEFACCION en CALENER VyP y normas CEN

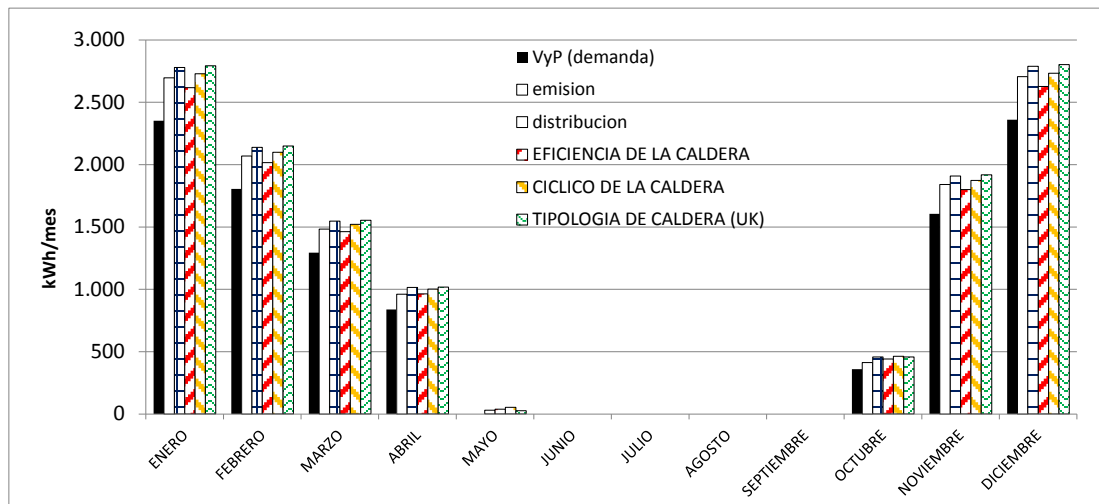
Del mismo se pueden obtener las siguientes conclusiones:

- Los valores de consumo estimados por el programa CALENER VyP son muy próximos a la estimación de la demanda inicial. Esto es debido a que en el actual Procedimiento Básico para Certificar Edificios en España ( regulado en el RD 235/2013) no se están teniendo en cuenta todos los subsistemas (emisión y distribución) que componen un sistema de climatización; y por tanto tampoco las pérdidas térmicas que debiera abastecer el generador térmico. Esto supone, no tener en cuenta, a la hora de plantear medidas de ahorro energético sobre un edificio, en el diseño sistemas que emitan energía calorífica a temperaturas más bajas, incrementar el aislamiento en la red de tuberías, seleccionar un adecuado control sobre la instalación, etc.
- Los valores de consumo obtenidos por los procedimientos descritos en la metodología de las normas CEN son superiores a los del CALENER VyP (por tener en cuenta más subsistemas y por tanto más pérdidas) y previsiblemente más cercanos al consumo real de un edificio (en el capítulo 10 *Comprobación con medidas reales* se discutirá, sobre dos edificios reales, cual procedimiento se acerca más al consumo real).
- Los consumos obtenidos a través del procedimiento por tipología de caldera (en España, como se explico en el anexo VI *Rendimiento estacional de generación*, obteniendo el rendimiento medio estacional como producto de su rendimiento nominal y el factor función de la tipología de caldera) da en algunos casos valores (en el caso de que la caldera sea de condensación) menores de consumo que la demanda, algo que escapa a todo lógica común. Por ejemplo un sistema mixto con recirculación con una caldera de condensación obtiene un valor de rendimiento medio estacional 1,06 veces mayor del rendimiento nominal no considerando todas las pérdidas energéticas en la recirculación.

Añadido a lo anterior, la metodología descrita en las normas CEN, permite diferenciar cuanto se incrementa la cantidad de energía que el subsistema de generación debe aportar a cada uno de los subsistemas, siguiendo una estructura aditiva, comenzando desde el subsistema de emisión. Esto permite cuantificar en que parte del sistema se están produciendo mayores pérdidas.

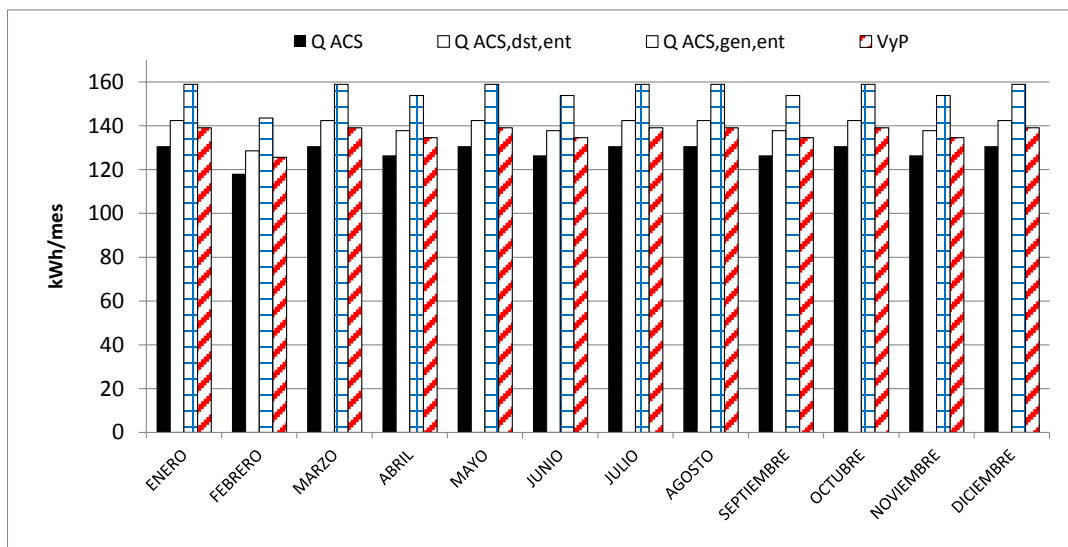
Se representa a continuación, para el ejercicio descrito, estos valores aditivos obtenidos a partir de los tres métodos de estimación desarrollados en el capítulo 5 (observar que la cantidad de energía de entrada del subsistema de emisión y distribución es la misma, pues la diferencia de los tres métodos está en el subsistema de generación).

<sup>117</sup> Por método en función de la tipología se han analizado los dos expuestos en el anexo VI *Rendimiento estacional de generación*, el de España y el de Reino Unido. Se puede comprobar que es más conservador (estimación de mayor consumo) el de Reino Unido.



**Imagen 9.3:** Consumos en función del subsistema de climatización a partir de la demanda

En el caso del consumo de energía para abastecer la demanda de ACS (se parte en ambos casos de la misma demanda de ACS 4,22 kWh/día) sin apoyo solar, se comprueba que el programa CALENER VyP estima un consumo de energía inferior al propuesto por las normas CEN, como sucede con el servicio de calefacción, pero, en este caso, muy cercano al consumo del subsistema de distribución.



**Imagen 9.4:** Comparación de consumos en ACS en CALENER VyP y normas CEN

De los valores obtenidos con apoyo solar resultan las mismas conclusiones, salvo que en el procedimiento descrito en las normas CEN, se obtiene un comportamiento más real de la instalación solar, pues se estima un mayor aporte de energía solar en meses de verano y menor en los de invierno (consecuentemente el generador auxiliar consume más energía en meses de invierno). En el programa CALENER VyP el porcentaje de reducción del consumo del equipo auxiliar es el mismo en cada mes, independientemente de la radiación solar, con lo que los estados de carga del generador auxiliar no son los reales.

Debido a lo anterior, en los meses de invierno, los consumos estimados del equipo generador auxiliar por las normas CEN son mucho mayores que en los meses de verano, en los que se comprueba además, que el consumo estimado por el CALENER VyP, es mayor (observar que en los meses de mayo, junio, julio, agosto y setiembre el equipo generador auxiliar no llegaría a arrancar circunstancia que no es contempla en CALENER VyP).



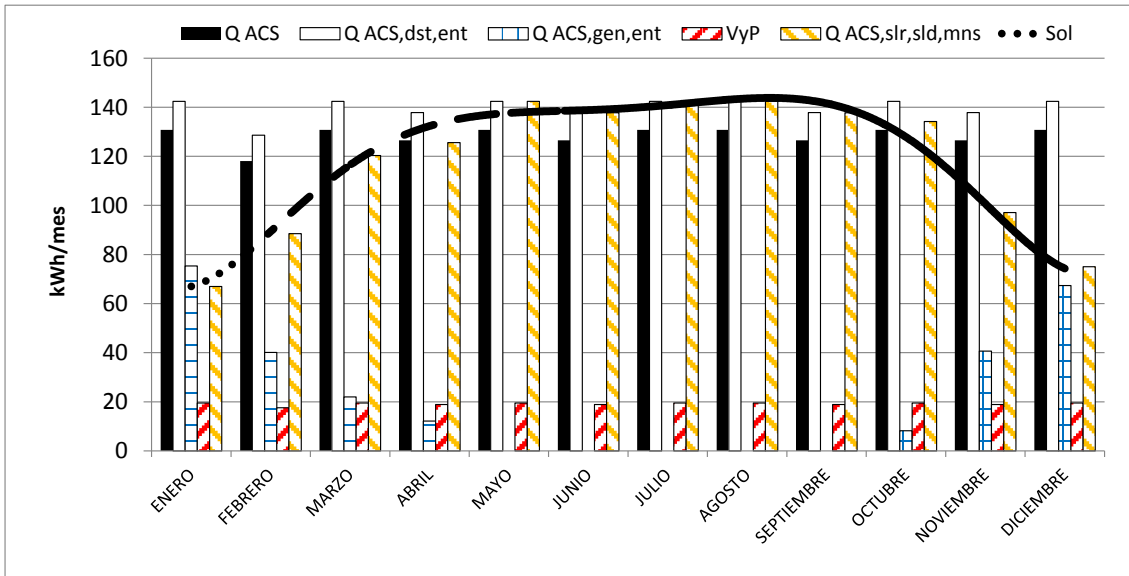


Imagen 9.5: Comparación de consumos en ACS en CALENER VyP y CEN con aporte solar

### 9.1.2. CEN vs CALENER GT

Como sucede en CALENER VyP, la estimación de los consumos en el programa CALENER GT se realiza corrigiendo sus prestaciones nominales hora a hora con las curvas de cada uno de los equipos que conforman el sistema de climatización analizado además de sus unidades terminales (ver anexo II apartado 14.5 *Comportamiento horario de los equipos en CALENER GT*).

En este programa, como ya se cito en el anexo II, ya se pueden definir de forma más completa los sistemas de climatización a partir de los componentes que integran el subsistema primario y el subsistema secundario (el sistema ya no se selecciona de una lista, sino que se va conformando a partir de sus elementos). Siendo esto cierto, es verdad que se puede definir el tipo de circuito que transporte del agua (circuito de calefacción, de condensación, de refrigeración, dos tubos,...), pero no su longitud, lugar por donde discurre o su nivel de aislamiento.

Una ventaja que tiene este programa frente al anterior, es que permite obtener y graficar los valores de consumos de energía por fuente y tipo de energía mes a mes y por tipo de consumidor. En el ejemplo analizado, el consumo del quemador de gas natural de la caldera de condensación.

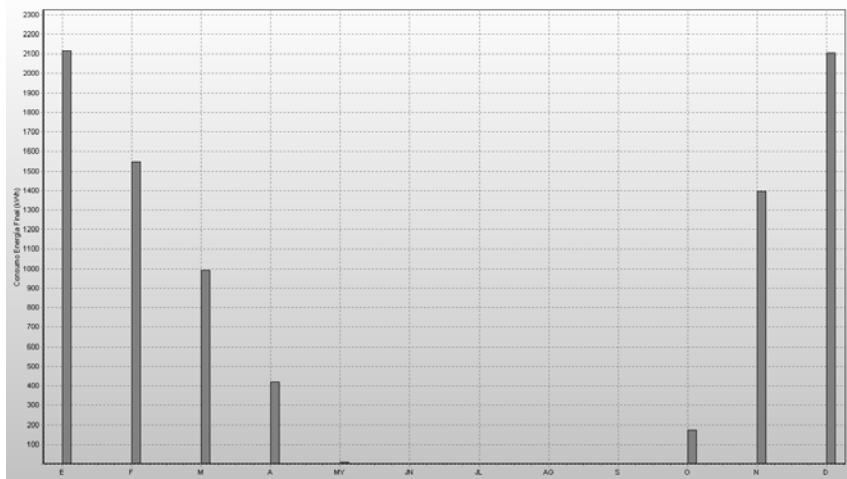
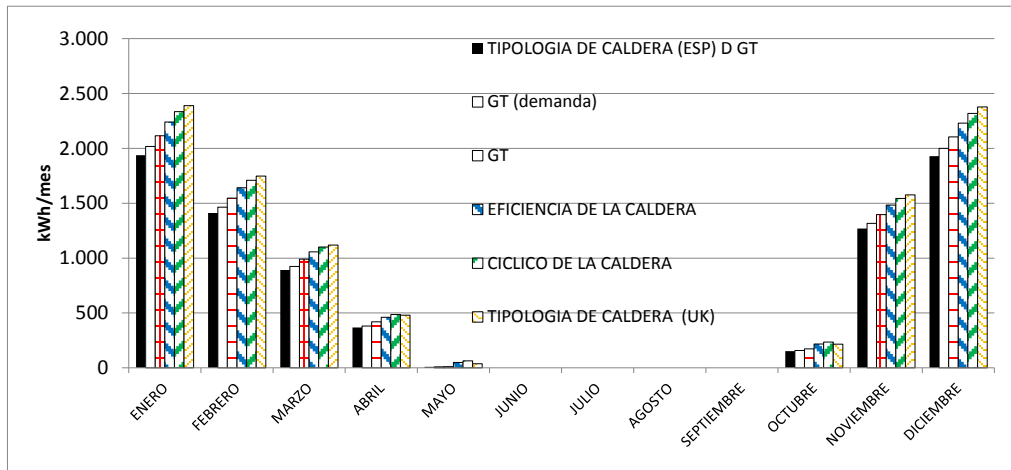


Imagen 9.6: Gráfica obtenida en el programa CALAENR GT consumo de combustible de la cadera

En ningún caso el programa permite disgregar el consumo térmico de gas de la caldera, en los subsistemas de emisión, distribución y generación. Por tanto, los valores que se comparan a continuación, son de consumo total de energía.

En el siguiente gráfico se representan mensualmente los consumos obtenidos por los tres métodos de estimación de las normas CEN<sup>118</sup> (tipología<sup>119</sup>, eficiencia y cíclico) y el obtenido en CALENER GT (también se representa el valor de demanda inicial obtenida con CALENER GT, barra roja, diferente al obtenido con CALNER VyP).



**Imagen 9.7:** Comparación de consumos en CALEFACCION en CALENER GT y CEN

Como se aprecia en la imagen, las conclusiones obtenidas entre las normas CEN y CALENER VyP en el apartado anterior, son totalmente extrapolables a la comparación entre las normas CEN y CALENER GT, manteniéndose además las mismas desviaciones.

Es decir, el consumo estimado por el programa CALENER GT es igualmente muy inferior al estimado por la metodología descrita en las normas CEN; debido a que no se consideran todos los subsistemas que componen el sistema de climatización.

Se muestra en la tabla 9.1 como las desviaciones de los consumos estimados, con cada una de las tres metodologías, con respecto a la demanda inicial de cálculo, es prácticamente constante independientemente del valor de la demanda inicial.

**Tabla 9.1:** Porcentaje de desviación del consumo con respecto a la demanda inicial de cálculo

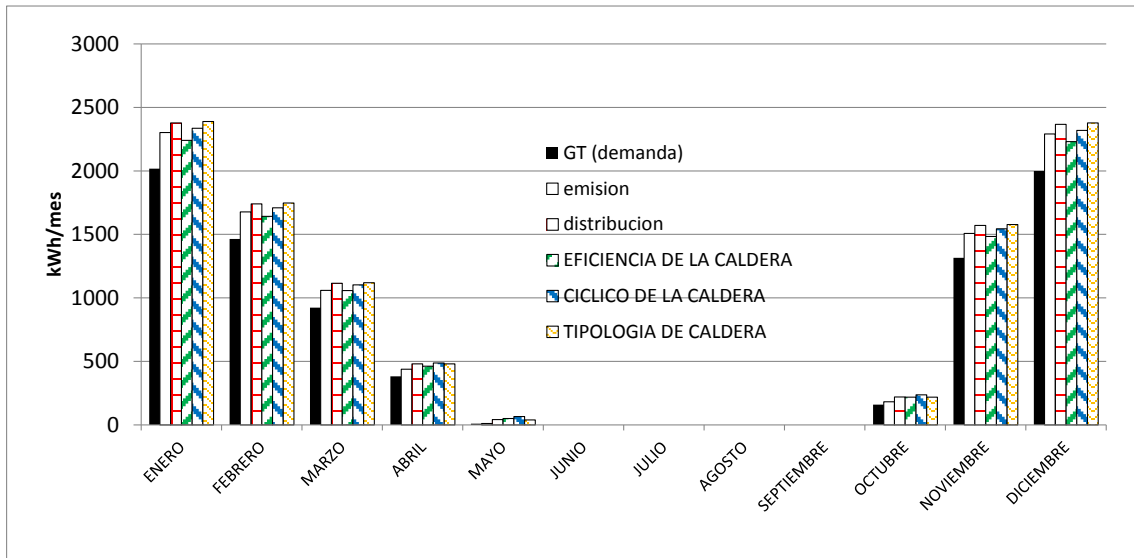
METODOLOGIA	DEMANDA	% de desviación para cada mes								
		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	VERANO	OCT	NOV	DIC
<b>TIPOLOGIA DE CALDERA (UK)</b>	VyP	84	84	83	82	0		79	84	84
	GT	84	84	83	80	24		73	83	84
<b>CICLICO DE LA CALDERA</b>	VyP	86	86	85	84	0		78	86	86
	GT	86	86	84	78	14		67	85	86
<b>EFICIENCIA DE LA CALDERA</b>	VyP	90	90	89	87	0		82	89	90
	GT	90	89	87	83	18	73	89	90	

Se concluye por tanto, que el método con el que mayor consumo se va a estimar de los propuestos por las normas CEN, es con el de tipología, a continuación el cíclico y el que menor consumo estima es el de la eficiencia de la caldera. La estimación de consumos otorgada por CALENER GT es inferior (probablemente por partir de una demanda inicial inferior) a la de CALENER VyP y ambas dos, inferiores al método por tipología.

<sup>118</sup> Y partiendo de la demanda obtenida en CALENER GT y no en CALENER VyP.

<sup>119</sup> Por método en función de la tipología se han analizado los dos expuestos en el anexo Estimación del rendimiento medio estacional del subsistema de generación, el de España y el de Reino Unido.

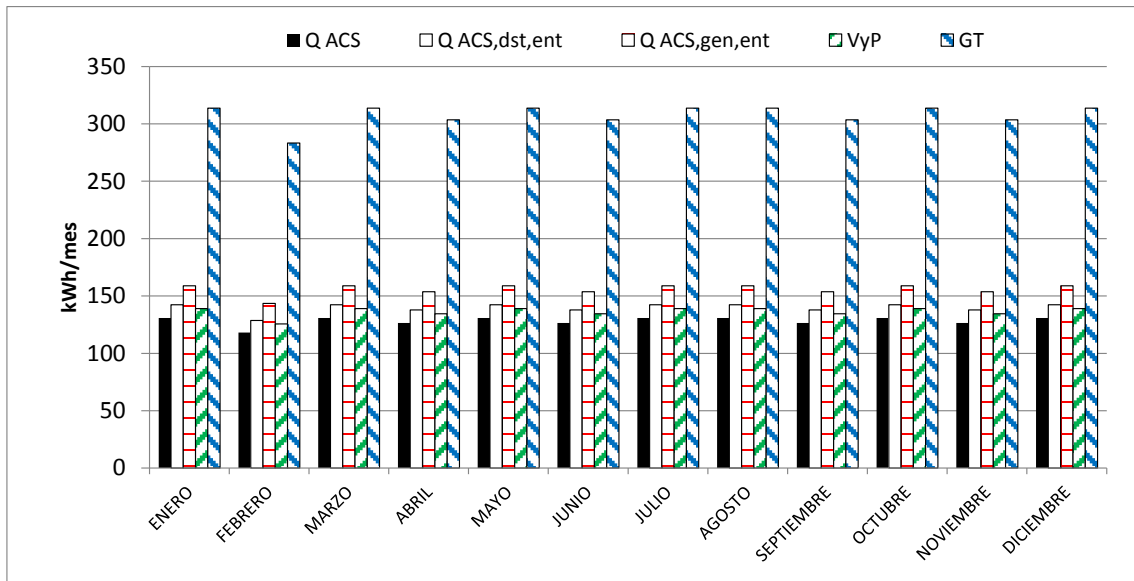
Se representa, como en el apartado anterior (para el mismo ejercicio) los valores aditivos obtenidos por los tres métodos de estimación (observar que la cantidad de energía de entrada del subsistema de emisión y distribución es la misma, pues la diferencia de los tres métodos esta en el subsistema de generación)



**Imagen 9.8:** Consumos en función del subsistema de climatización a partir de la demanda

En el caso del consumo de energía para abastecer la demanda de ACS (se parte en ambos casos de la misma demanda de ACS 4,22 kWh/día) sin apoyo solar, se comprueba que el programa CALENER GT, estima un consumo de energía muy superior al propuesto por las normas CEN y el estimado por el programa CALENER VyP, al contrario que sucede con el servicio de calefacción.

Este mayor consumo se debe a la gran penalización que tienen los equipos generadores de ACS en el programa CALENER GT para estados de carga bajos (ver curvas de comportamiento apartado 14.5.3). En el programa CALENER VyP apenas se corrige el rendimiento del generador de ACS con el estado de carga (imagen 14.50).



**Imagen 9.9:** Comparación de consumos en ACS en CALENER GT y normas CEN

De los valores obtenidos con aporte solar se obtienen las mismas conclusiones que las detectadas con el programa CALENER VyP, es decir, se obtiene un comportamiento más real de la instalación solar con las normas CEN, estimando estas un mayor aporte de energía solar en meses de verano y menos en los de invierno (consecuentemente el generador auxiliar consume más energía en meses de invierno). En el programa CALENER GT el porcentaje de reducción del consumo del equipo térmico auxiliar es el mismo en cada mes, independientemente de la radiación solar, con lo que los estados de carga del generador auxiliar no son los reales (recordar que en este programa los estados de carga del generador auxiliar son muy sensibles a la estimación del consumo total del generador térmico auxiliar).

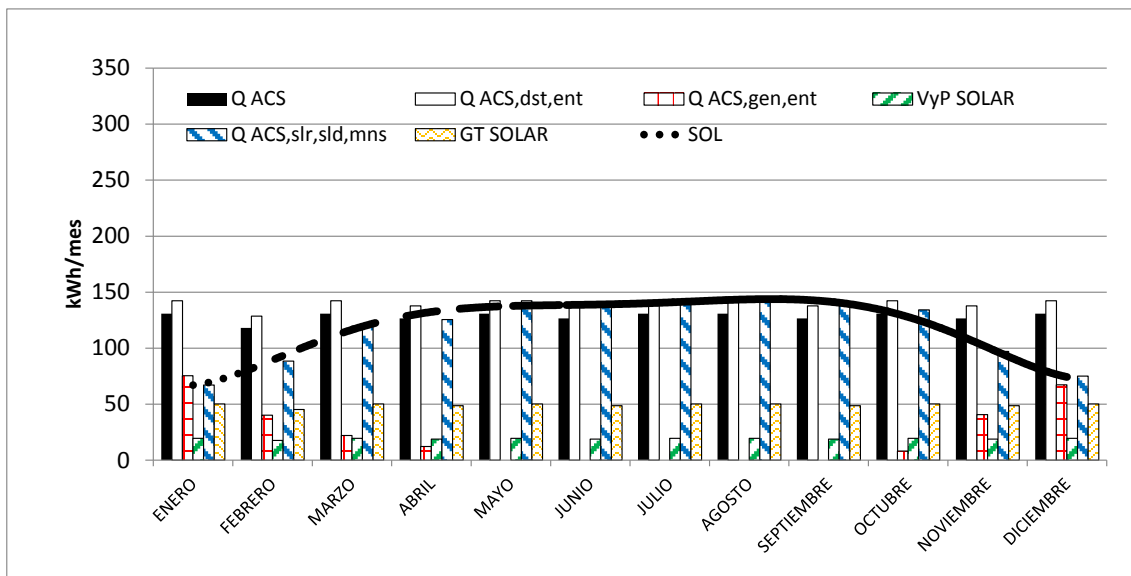


Imagen 9.10: Comparación de consumos en ACS en CALENER GT y CEN con aporte solar

En este programa además se puede obtener el consumo eléctrico (auxiliar) del quemador de la caldera y de la bomba de circulación de agua. Las conclusiones obtenidas para el consumo de combustible también son aplicables para el caso de la estimación del consumo eléctrico de los equipos auxiliares, aunque las diferencias entre CALENER GT y los procedimientos descritos en las normas CEN son más notorios.

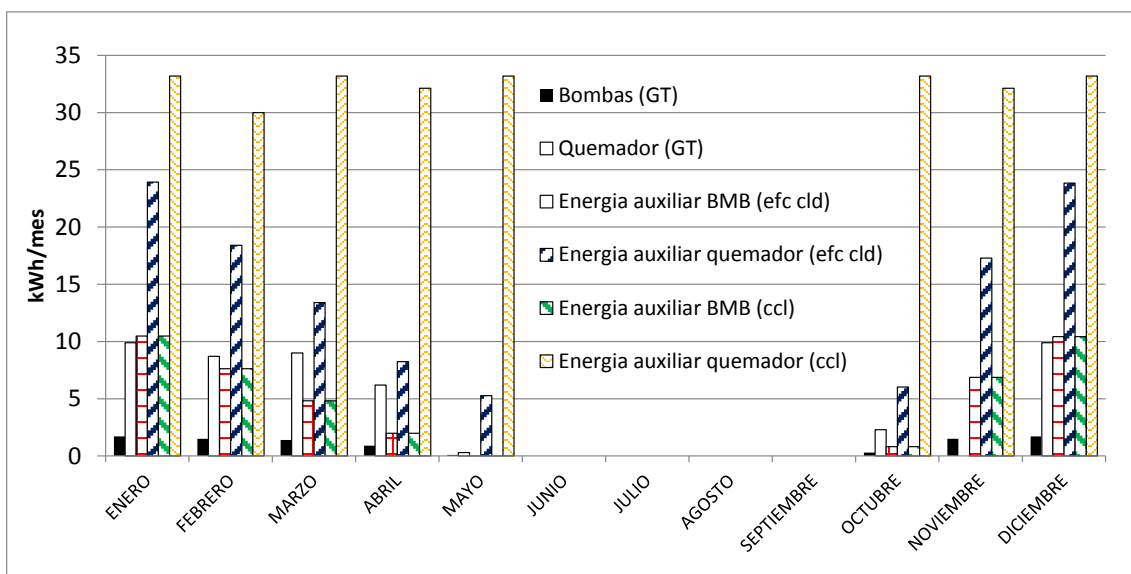


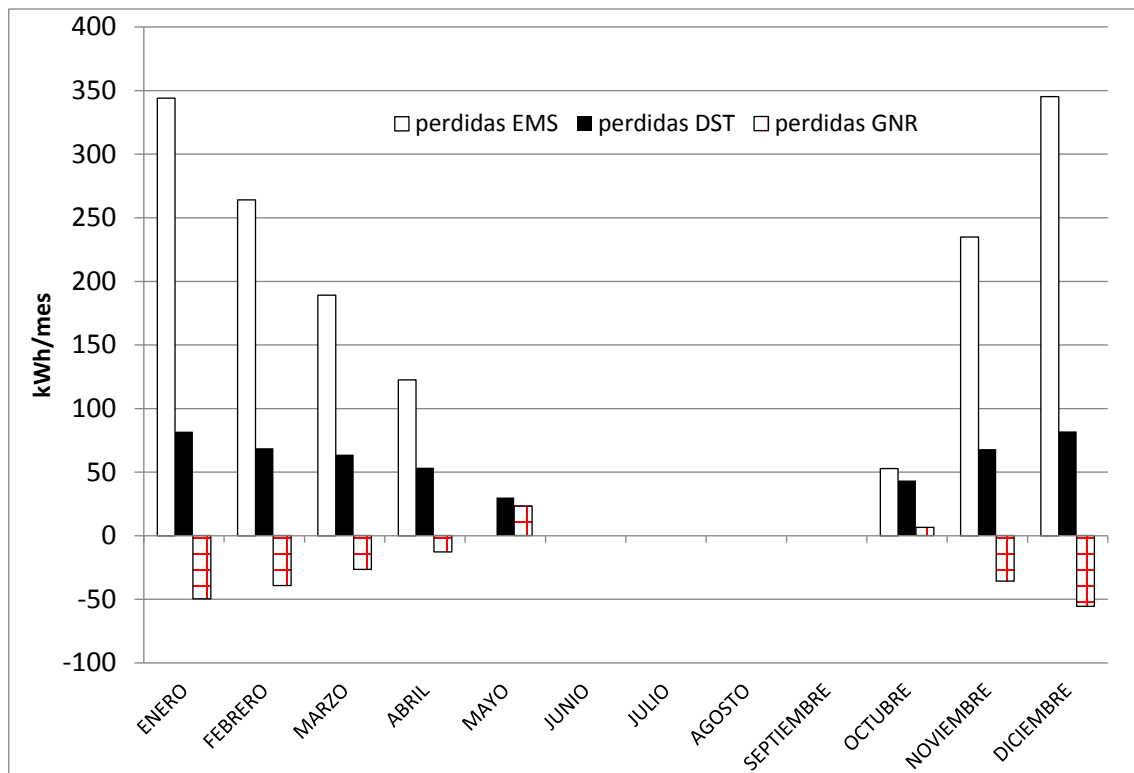
Imagen 9.11: Consumos eléctricos de los equipos auxiliares

## 9.2. Conclusiones

Se concluye, con la exposición vista en anteriores apartados, que la consideración por parte de los programas CALENER de los sistemas de climatización y agua caliente sanitaria es insuficiente, y por tanto, no se están considerando partes importantes de los mismos.

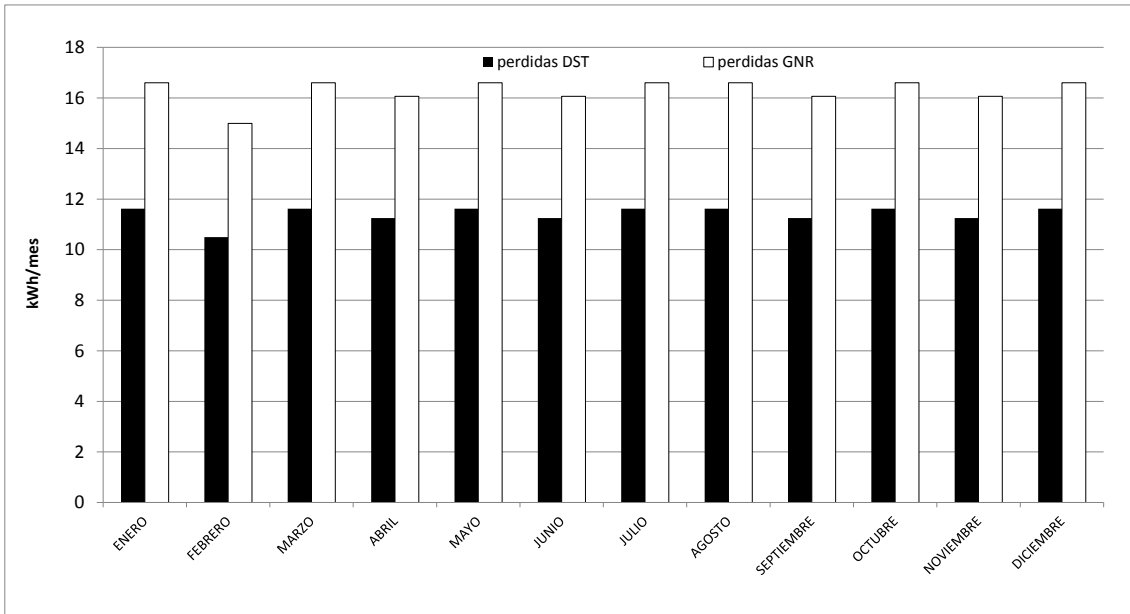
Se propone por tanto, adaptar en España, dentro del proceso de certificación energética de los edificios, los dos subsistemas (emisión, solo en el caso del servicio de calefacción y distribución) si considerados en las normas CEN y no considerados en los programas CALENER y llegar al nivel de definición mínimo indicado en las mismas normas CEN para el subsistema de generación (consideración de las arrancadas y paradas en los generadores térmicos y pérdidas a través de su envolvente, en periodos de disposición en los que el generador no esté encendido  $t_{ACS,OFF}$ ).

Llama poderosamente la atención el elevado valor estimado en las normas CEN, para las pérdidas energéticas en el subsistema de emisión. Se puede afirmar por tanto que son valores muy sensibles en la estimación del consumo de energía final, el diseño del elemento emisor (superficie, regulación, colocación, temperatura media de trabajo). Se muestra en el siguiente gráfico el orden de magnitud de las pérdidas térmicas de los tres subsistemas para el ejercicio de aplicación del anexo VII (los valores negativos en el subsistema de generación es debido a que el aprovechamiento del calor de condensación del vapor de agua de los humos de combustión está referido al poder calorífico inferior del combustible).



**Imagen 9.12:** Pérdidas de los subsistemas. Demanda inicial obtenida de CALENER VyP.

En el caso del servicio de ACS las mayores pérdidas se dan en el generador de calor (la distribución interior del circuito de ACS es por el interior de la vivienda).



**Imagen 9.13:** Pérdidas de los subsistemas. Demanda inicial ACS 4,22 kWh/día.

Finalmente añadir que para este servicio, los programas CALENER no estiman correctamente los aportes de energía solar mensualmente (realiza una reducción de la demanda de ACS porcentual de igual valor para cada mes. Este valor se solicita al usuario del programa), alterando así los estados de carga de los generadores térmicos, siendo esto verdaderamente sensible en el valor estimado de consumo de energía final del generador, en el caso del programa CALENER GT.

## 10. Comprobación con medidas reales

Se analiza en este capítulo, como así ya han hecho algunos Estados Miembros [10.3, 10.4 y 10.5], sobre dos edificios de viviendas en uso, situados en Bermeo y San Fernando (descritos en el anexo VIII *Edificios reales analizados*), los siguientes puntos:

- Si los valores, que por defecto se proponen las normas CEN, para los datos necesarios en la estimación de consumo y que no se tienen, son aplicables a nuestro país.
- Comprobación si la estimación del consumo estimado por los programas CALENER se aproxima o no al consumo real de los edificios.
- Aplicación de la metodología descrita en las normas CEN para estimar el consumo energético sobre los edificios, comprobando, en primer lugar, si existen las mismas desviaciones que las mostradas sobre el ejercicio teórico en el capítulo 9 y valoración, si el consumo real de los edificios, se aproxima más al estimado con estas consideraciones que con los programas de simulación computacional (PSC).

### 10.1. Bermeo

Se muestra sobre el edificio de 55 viviendas de Bermeo, en primer lugar, los valores de consumo real que se han registrado, a continuación los valores estimados en la simulación computacional y finalmente los valores estimados con los métodos que desarrollan las normas CEN.

#### 10.1.1. Consumos reales

Se cuenta en el edificio con los siguientes registros reales:

- Consumo total de gas natural de las calderas entregado por la empresa comercializadora
- Contadores de agua caliente sanitaria de cada una de las viviendas (m<sup>3</sup>)
- Contador de energía térmica de cada una de las viviendas

Los registros obtenidos de estas medidas no se ajustan perfectamente con los meses naturales del año. Por tanto, lo primero que se realiza, es una normalización de los consumos, dividiendo el registro de la medida entre el número de días que comprende la misma y multiplicado por el número de días de cada mes [10.1].

Otro problema que se tiene, es que los contadores individuales de cada vivienda, para el caso del servicio de ACS, registran volumen de agua y no energía. Como las variables de las que depende el consumo energético de ACS son muy constantes a lo largo del año salvo, el consumo propio de agua del servicio, se aplica la siguiente expresión para obtener la demanda de energía del servicio de ACS (el error cometido no es muy grande [10.2]):

$$Q_{ACS,mns} = \rho \cdot C_{p_{ag}} \cdot V_{ACS,med}(T_{uso}) \cdot (T_{uso} - T_{red}) \cdot \frac{1}{3600}$$

donde:

- $Q_{ACS,mns}$  Demanda mensual de energía para ACS (kWh/mes)
- $\rho$  Densidad del agua (kg/litro): Se tomará igual a la unidad, 1 kg/litro
- $C_{p_{ag}}$  Calor específico del agua [kJ/kgK]: Se tomará igual a 4,18 kJ/kgK.
- $T_{uso}$  Temperatura de uso (°C). Se tomará igual a 60 °C.
- $T_{red}$  Temperatura media anual de agua fría (°C). Se calcula como la media ponderada de las temperaturas diarias medias mensuales de agua fría, tal y como aparecen recogidas en la norma UNE-EN 94 002:2005 (anexo III apartado 15.1). En esta caso 13°C.
- $V_{ACS,med}(T_{uso})$  Consumo de agua caliente sanitaria medido (litros/mes).

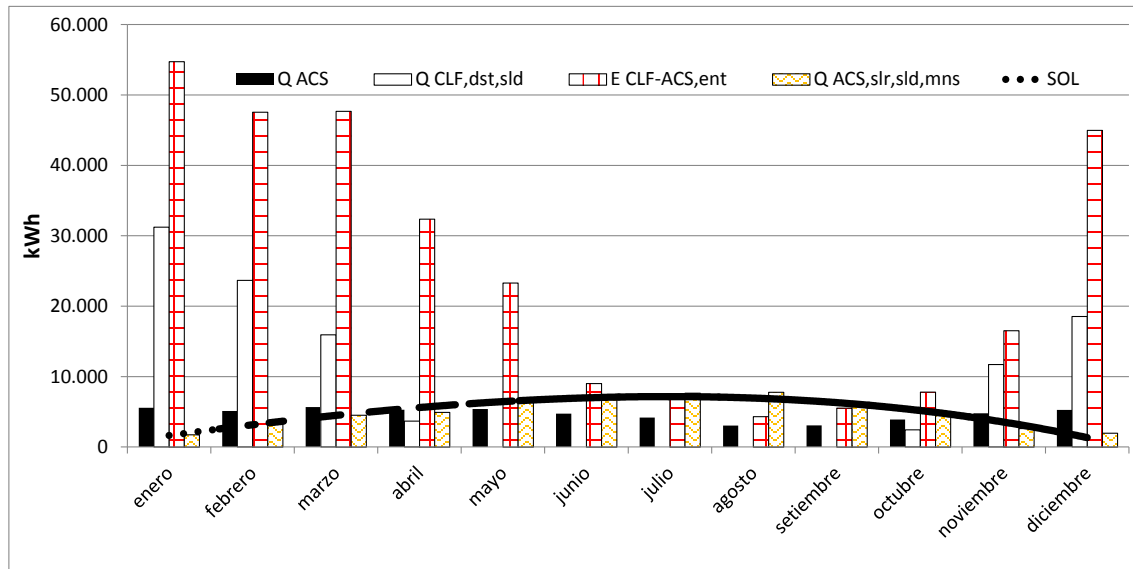
Con esto se obtienen que los consumos reales normalizados del edificio en un año sean los siguientes:

**Tabla 10.1:** Consumos y demandas reales en kWh

Mes	Q <sub>ACS</sub>	Q <sub>CLF,sld,dst</sub>	E <sub>CLF-ACS,ent</sub>	E <sub>CLF,ent</sub> *	E <sub>ACS,ent</sub> *	Q <sub>ACS,slr,sld,mns</sub>	
	kWh	kWh	kWh	kWh			kWh
Enero	5.559	31.218	54.741	48.226	6.515	1749	0,63
Febrero	5.111	23.670	47.572	41.057	6.515	3205	1,27
Marzo	5.661	15.931	47.687	41.172	6.515	4519	1,62
Abril	5.294	3.680	32.373	25.858	6.515	4933	1,83
Mayo	5.379	0	23.314	16.799	6.515	6568	2,35
Junio	4.742	0	9.025	0	9.025	6820	2,53
Julio	4.169	0	7.194	0	7.194	7661	2,75
Agosto	3.045	0	4.318	0	4.318	7777	2,79
Septiembre	3.074	0	5.524	0	5.524	5891	2,18
Octubre	3.904	2.446	7.802	1.286	6.515	5009	1,80
Noviembre	4.781	11.719	16.531	10.016	6.515	2627	0,97
Diciembre	5.253	18.546	44.999	38.484	6.515	1983	0,71
Total	55.971	107.209	301.081	222.897	78.185	58.743	21
kWh/m <sup>2</sup>	12,8	25,1	68,8	50,9	17,9	13,4	-

\*Estimados en función del consumo de ACS en verano

Los contadores de energía de cada vivienda ofrecen la energía de entrada del subsistema de emisión ( $Q_{CLF,ems,ent} = Q_{CLF,dst,sld}$ ) y los consumos volumétrico de agua arrojan de forma aproximada la cantidad de energía demandada para el servicio de ACS ( $Q_{ACS}$ ). El contador de energía solar indica la energía solar entregada por el campo de captación solar ( $Q_{ACS,slr,sld}$ ). Gráficamente se obtendría la siguiente imagen:



**Imagen 10.1:** Datos reales de BERMEO

### 10.1.2. Aplicación de las normas CEN

Se trata de analizar dos bloques de edificios de viviendas, el bloque I con una longitud de planta  $L_{lrg,1} = 49$  m y ancho  $L_{anch,1} = 11$  m y el bloque II con  $L_{lrg,2} = 40$  m y ancho  $L_{anch,2} = 9,4$  m, cinco plantas  $n_{pln}=5$  con una altura de la planta  $h_{pln} = 2,5$  m.

La planta calentada en cada bloque es  $A_{zon,1} = 2.500$  m<sup>2</sup> y  $A_{zon,2} = 1.877$  m<sup>2</sup>. Ambos bloques tienen abastecida la demanda de ACS de forma central con el mismo generador que abastece la demanda de calefacción más un apoyo solar para este servicio.



La forma de abordar la estimación del consumo de este edificio (dos bloques) con la metodología descrita en las normas CEN, parte por conocer en primer lugar las necesidades de energía de los dos circuitos de distribución de calefacción (para el bloque 1 y para el bloque 2) y los circuitos de ACS. La suma total de estas tres necesidades se atribuye a las dos calderas, de acuerdo al apartado 5.3.

Se detalla exclusivamente la metodología de las normas CEN paso a paso para uno de los circuitos de calefacción (bloque 1) y para el circuito de ACS, por ser diferentes a lo mostrado en el ejercicio de aplicación propuesto en el anexo VII.

Con el programa LIDER y la herramienta PostCALENER se han obtenido para el uso de viviendas una demanda anual de calefacción 102.575 kWh para el bloque 1 y 70.949 para el bloque 2 para los meses de enero, febrero, marzo, abril, mayo, octubre, noviembre y diciembre ( $t_{CLF,ON-OFF} = 3.402$  h) y se ha demandado energía durante esos meses  $t_{CLF,ON} = 2.544$  h ( se han contado solo las horas en las que la demanda horaria ha sido igual o superior a la potencia mínima de generación).

**Tabla 10.2:** Datos obtenidos del programa PostCALENER para el bloque 1 corregidos ( ajustados)

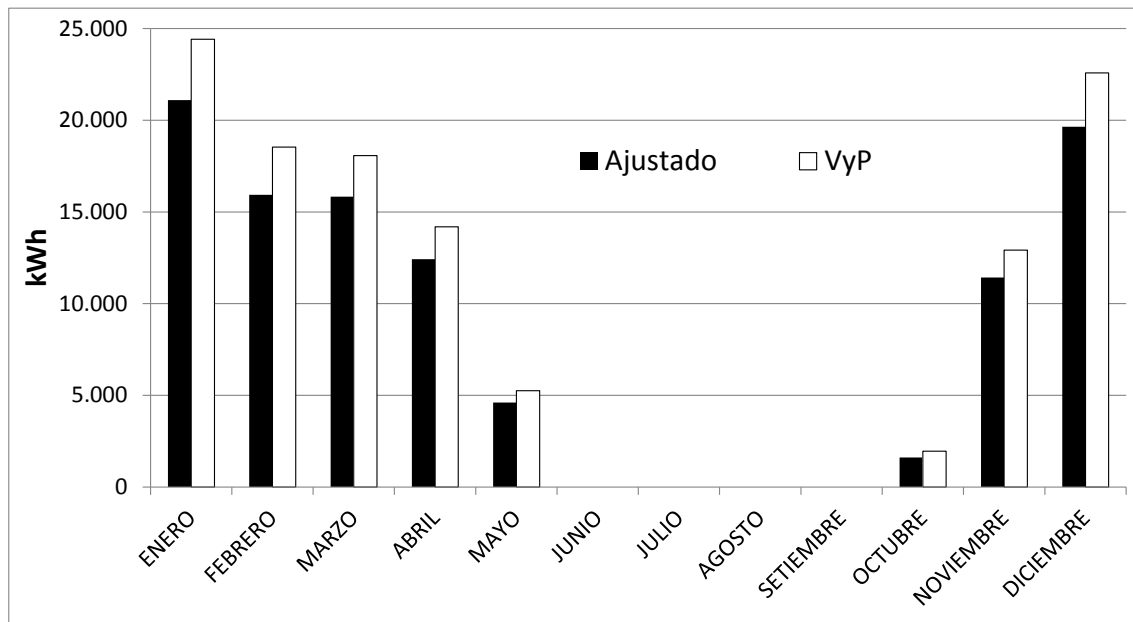
MES	$Q_{CLF}$ (Wh)	$t_{CLF,ON}$ (h)	$t_{CLF,ON-OFF}$ (h)*
<b>ENERO</b>	21.097.866	432	434
<b>FEBRERO</b>	15.937.162	348	392
<b>MARZO</b>	15.830.453	393	434
<b>ABRIL</b>	12.421.764	337	420
<b>MAYO</b>	4.608.162	175	434
<b>JUNIO</b>	0	0	0
<b>JULIO</b>	0	0	0
<b>AGOSTO</b>	0	0	0
<b>SETIEMBRE</b>	0	0	0
<b>OCTUBRE</b>	1.610.086	114	434
<b>NOVIEMBRE</b>	11.428.643	324	420
<b>DICIEMBRE</b>	19.641.587	421	434
<b>TOTAL</b>	102.575.722	2.544	3.402
<b>kWh/m<sup>2</sup></b>	41,0		

\*Horario de calefacción acordado en comunidad de 8 a 21 horas ambas inclusive.

Para obtener esta suma de valores de demanda a partir de los datos horarios entregados por el programa postCALENER<sup>120</sup> se han excluido (no se sumaron) los valores de demanda obtenidos para una temperatura exterior superior a 18°C (marcado por el control del sistema de generación y decido por el proyectista y mantenedor) y los que no correspondan a horas que estén dentro del horario de calefacción (por acuerdo comunitario es de 8 a 21 h ambas inclusive).

Esta elección se toma así para ajustarse al horario real de calefacción del edificio e intentar calibrar (ajustar) la estimación energética de las normas CEN, para acercar el consumo estimado al consumo real. Si no se hubiera realizado así, la demanda mensual inicial para el cálculo (aceptando los valores que por defecto asigna el programa para uso residencial) sería entorno a un 15% mayor.

<sup>120</sup>Con coeficientes operacionales y ocupacionales por defecto para viviendas y sus valores por defecto de consigna del termostato.



**Imagen 10.2:** Demandas teórica obtenida de LIDER y corregida ( ajustado) con el horario de uso real.

Evidentemente con esta comprobación, se está cometiendo el error de no considerar la inercia de los cerramientos. Con el programa LIDER no se puede cuantificar cual sería este error(no se puede seleccionar el horario de uso de las viviendas), pero posteriormente, se evaluará esta demanda con el programa CALENER GT, que si permite introducir los horarios de cálculo y seleccionar la consigna de la temperatura de los termostatos.

La carga térmica de diseño (potencia de los emisores de calor, radiadores estándar con sistema de equilibrio estático y sin control eléctrico) es de  $\Phi_{CLF,ems} = 146.596 \text{ W}$  (un total de 170 radiadores para el edificio 1). Las temperaturas de trabajo, situación, equilibrado y control de los emisores son las siguientes (obtenidos del proyecto facilitado por la ingeniería FACTOR 4):

- Temperatura de impulsión de diseño:  $T_{imp,dsñ,ems} = 80 \text{ °C}$ .
- Temperatura de retorno de diseño:  $T_{rr,dsñ,ems} = 60 \text{ °C}$ .
- Radiadores en pared externa. Equilibrado por retorno invertido.
- Control de actuación con válvulas termostáticas ( colocación del termostato en local principal, salón)
- Radiadores estándar:  $\Delta p_{pln} = 0$ , generador:  $\Delta p_{gnr} = 1 \text{ kPa}$ .

Los edificios son de nueva construcción con las siguientes características del subsistema de distribución (obtenido del proyecto facilitado por la ingeniería FACTOR 4):

- Edificios nuevos, ejecutado según el CTE (b=1)
- Sistema de calefacción bitubo.
- Bomba con diferencia de presión variable ( $\Delta p$  variable).
- Bomba no aislada.
- Temperatura de impulsión variable.
- Sistema sobredimensionado (se detectará en el cálculo posterior).
- Sistema equilibrado estáticamente.
- Generador estándar controlado por temperatura exterior.

Las prestaciones del generador se han obtenido del catalogo facilitado por el fabricante que declara se han realizado bajo ensayos de acuerdo con a lo que requiere la Directiva 92/42/CEE los siguientes valores

- Dos calderas de baja temperatura de dos marchas situada en la sala de calderas del sótano del bloque 1. Las calderas son idénticas con dos escalones de 85 kW.
- $\Phi_{Pn} = 170 \text{ kW}$   $\eta_{Pn} = 92\%$   $P_{aux,Pn} = 500 \text{ W}$  ( cada caldera).
- $\eta_{Pint} = \text{No disponible}$   $P_{aux,Pint} = \text{No disponible}$   $P_{aux,P0} = \text{No disponible}$
- Combustible gas natural.

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 debida a ventiladores ni bombas adicionales  $W_{CLF,bmb-vnt}=0$ , ni existe consumo energético por los sistemas de control ecuación 5.3):

$$W_{CLF,ems,aux} = W_{CLF,ems,ctr} + W_{CLF,ems,bmb-vnt} = 0$$

Se analizan ahora las pérdidas térmicas en el sistema de emisión y la cantidad de energía necesaria. Para calcular las pérdidas térmicas las normas CEN proponen dos métodos (ver apartado 5.1.2), pero según lo argumentado en el anexo VII *Ejercicios de Aplicación normas CEN* se utilizara el primero de los métodos, método a partir del uso de indicadores de eficiencia (apartado 5.1.2.1).

Para ello se necesita conocer la diferencia de temperatura del emisor en las condiciones de diseño con una temperatura interior de referencia de 20°C:

$$\Delta T_{CLF,ems,dsñ} = \frac{T_{imp,dsñ,ems} + T_{rtr,ems,dsñ}}{2} - T_{int,rfr} = \frac{80 + 60}{2} - 20 = 50^\circ C$$

Con esto se puede obtener de la tabla 5.4 (emisores de calor radiadores y altura de los espacios menor de 4 m e interpolando entre los valores 60 y 42,5 °C)  $\eta_{CLF,ems,str1}=0,90$  y  $\eta_{CLF,ems,str2}=0,95$  (todos en pared externa) y mediante la ecuación 5-12 se obtiene  $\eta_{CLF,ems,str}$

$$\eta_{CLF,ems,str} = \frac{\eta_{CLF,ems,str1} + \eta_{CLF,ems,str2}}{2} = \frac{0,90 + 0,95}{2} = 0,93$$

De la misma tabla se obtiene  $\eta_{CLF,ems,psc} = 1$  y  $\eta_{CLF,ems,ctr} = 0,88$  (local principal) y se obtiene  $\eta_{CLF,ems}$  de la ecuación 5-10

$$\eta_{CLF,ems} = \frac{1}{\left(4 - \left(\eta_{CLF,ems,str} + \eta_{CLF,ems,psc} + \eta_{CLF,ems,ctr}\right)\right)} = \frac{1}{\left(4 - (0,93 + 1 + 0,88)\right)} = 0,84$$

De la tabla 5.5 se obtiene  $f_{CLF,ems,hdr} = 1,03$  (retorno invertido),  $f_{CLF,ems,intr} = 0,97$ ,  $f_{CLF,ems,rad} = 1$  y finalmente se obtiene  $Q_{ems,prd}$

$$Q_{CLF,ems,prd,mns} = \left( \frac{f_{CLF,ems,hdr} \cdot f_{CLF,ems,int r} \cdot f_{CLF,ems,rdc}}{\eta_{CLF,ems}} - 1 \right) \cdot Q_{CLF,mns} = 0,16 \cdot Q_{CLF,mns}$$

Operando mes a mes (más preciso como se cita en las normas CEN y se vio en el ejercicio de aplicación) se obtienen los valores de la tabla 10.3.

**Tabla 10.3:** Ejemplo de cálculo, datos del subsistema de emisión. Bloque 1

VARIABLE	Q <sub>CLF</sub>	t <sub>CLF,ON-OFF</sub>	W <sub>CLF,dst aux</sub>	Q <sub>CLF,ems,aux,rcp</sub>	Q <sub>CLF,ems prd</sub>	Q <sub>CLF,ent ems</sub>	η <sub>CLF,ems</sub>
MES	Wh	h	Wh	Wh	Wh	Wh	-
ENERO	21.097.866	434	0	0	3.357.725	24.455.591	85,42
FEBRERO	15.937.162	392	0	0	2.536.399	18.473.561	
MARZO	15.830.453	434	0	0	2.519.417	18.349.869	
ABRIL	12.421.764	420	0	0	1.976.924	14.398.688	
MAYO	4.608.162	434	0	0	733.389	5.341.551	
JUNIO							
JULIO							
AGOSTO							
SEPTIEMBRE							
OCTUBRE	1.610.086	434	0	0	256.245	1.866.332	85,42
NOVIEMBRE	11.428.643	420	0	0	1.818.869	13.247.512	
DICIEMBRE	19.641.587	434	0	0	3.125.959	22.767.545	
TOTAL	102.575.722	3.402	0	0	16.324.926	118.900.649	
TOTAL(kWh)	102.576	-	-	0	16.325	118.901	-
(kWh/m <sup>2</sup> )	41,0				6,5	47,6	-

Y por tanto la energía térmica de entrada en el subsistema de emisión es

$$Q_{CLF,ems,ent} = Q_{CLF,ems,sld} + Q_{CLF,ems,prd} - Q_{CLF,ems,aux,rcp}$$

$$Q_{CLF,ems,ent} = 102.575 + 16.325 - 0 = 118.901 \text{ kWh}$$

Observar que según las normas CEN los valores de pérdidas de energía en el subsistema de emisión de este edificio es muy elevada (entorno 15 % con respecto a la demanda calculada). Por tanto, debiera considerarse en los análisis energéticos que pueda realizarse en un edificio, en concreto, en el proceso de certificación energética.

Añadir a lo anterior que, cuando una ESE (Empresa de Servicio Energético) propone un contrato energético a una propiedad suele venderle el kWh de energía a un precio fijo a la entrada del edificio o vivienda (Q<sub>i,dst,sld</sub>) y por tanto, como ESE, no este preocupada (aunque debiera) porque los usuarios del edificio estén malgastando energía debido a un incorrecto o mejorable subsistema de emisión.

DISTRIBUCION BLOQUE 1: Q<sub>CLF,dst,sld</sub>= Q<sub>CLF,ems,ent</sub>=118.901 kWh

Se calculan ahora en primer lugar las condiciones de diseño para el caudal de agua de distribución y las pérdidas de carga en las condiciones de diseño de la distribución del bloque 1 para así obtener la potencia eléctrica en las condiciones de diseño.

$$V_{CLF,dst} = \frac{3600 \cdot \phi_{CLF,ems}}{C_{e,ag} \cdot \rho_{ag} \cdot \Delta T_{CLF,dst,dst}} = \frac{3.600 \cdot 146.596}{4,184 \cdot 1.000 \cdot 20} = 6,306 \text{ m}^3/\text{h}$$

L<sub>CLF,otr</sub>=10 m (sistema de calefacción de dos tuberías)

$$L_{CLF,dst,max} = 2 \cdot \left( L_{trg} + \frac{L_{anch}}{2} + n_{p,ln} \cdot h_{p,ln} + L_{CLF,otr} \right) = 2 \cdot \left( 50 + \frac{10}{2} + 5 \cdot 2,5 + 10 \right) = 155 \text{ m}$$

$$\Delta p_{CLF,dst} = 0,13 \cdot L_{CLF,dst,max} + 2 + \Delta p_{CLF,p,ln} + \Delta p_{CLF,gnr} = 0,13 \cdot 155 + 2 + 25 + 1 = 48,2 \text{ kPa}$$

$$P_{CLF,hdr,dst} = 0,2778 \cdot V_{CLF,dst} \cdot \Delta p_{CLF,dst} = 0,2778 \cdot 6,306 \cdot 48,2 = 84,35 \text{ W}$$

Según los datos recogidos en el proyecto (que coincide con lo ejecutado) el volumen de circulación de la bomba en condiciones de diseño es de 6.500 l/h (6,5 m<sup>3</sup>/h), muy parecido al propuesto por las normas CEN, la pérdida de carga obtenida por el método es de 48,2 kPa (4,9 mca) muy parecido al real de la bomba, 5 mca.

Se va a seguir el procedimiento descriptivo con los valores propuestos por las normas CEN (6,3 m<sup>3</sup>/h y 4,9 mca) y luego poder compararlos con los valores reales obtenidos del proyecto y de las visitas al propio edificio.

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 ( $P_{CLF,hdr,dst}$ ), la carga parcial media de la distribución ( $\beta_{CLF,dst}$ ) y las horas de calefacción en el periodo de tiempo ( $t_{CLF,ON-OFF}$ ):

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

$$\beta_{CLF,dst,anl} = \frac{Q_{CLF,dst,sld}}{\phi_{ems} \cdot t_{CLF,ON-OFF,anl}} = \frac{118.901}{146,6 \cdot 3.402} = 0,24$$

Además

- $f_{CLF,Timp}=1$  Temperatura de impulsión variable
- $f_{CLF,red,hdr}=1$  Sistema bitubo en anillo
- $f_{CLF,A,emsr}=0,96$  Está sobredimensionado ( la demanda máxima ha sido 103 kW)
- $f_{CLF,eql,hdr}=1$  Sistema equilibrado
- $f_{CLF,gnr,bmb,int}=1$  Generador estándar controlado por temperatura exterior

$$W_{CLF,dst,hdr,anl} = \frac{84,35}{1.000} \cdot 0,24 \cdot 3.402 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,96 \cdot 1 \cdot 1 = 65,68 \text{ kWh/año}$$

El cálculo de consumo de energía auxiliar (eléctrica) se da mediante:

$$W_{CLF,dst,aux,anl} = W_{CLF,dst,hdr,anl} \cdot e_{CLF,dst}$$

Para calcular el factor  $e_{CLF,dst}$  hay que valerse de las siguientes dos expresiones (edificio nuevo b=1):

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

$$f_{CLF,dst,efc} = \left( 1,25 + \left( \frac{200}{84,35} \right)^{0,5} \right) \cdot 1,5 \cdot 1 = 4,18$$

$$e_{CLF,dst} = f_{cnt} \cdot f_{fcp} \cdot f_{\eta} \cdot f_{dst} = \left( Cp_1 + Cp_2 \cdot \frac{1}{\beta_{dst}} \right) \cdot f_{efc} = \left( 0,9 + 0,1 \cdot \frac{1}{0,24} \right) \cdot 4,18 = 5,52$$

$$W_{CLF,dst,aux,anl} = W_{CLF,dst,hdr,anl} \cdot e_{CLF,dst} = 65,68 \cdot 5,52 = 363 \text{ kWh}$$

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  $k_{CLF,imp}$  se considera como 3% y la demanda de energía auxiliar anual viene dada por (funcionamiento ordinario de 13 h/día entonces  $k_{CLF,ord}=13/24=0,54$  y entonces  $k_{CLF,rc}=1-0,03-0,54=0,43$ ):

$$W_{CLF,dst,aux,int} = W_{CLF,dst,aux} \cdot (k_{CLF,ord} + 0,6 \cdot k_{CLF,rc} + 0,03) = 363 \cdot (0,54 + 0,6 \cdot 0,43 + 0,03) = 301 \text{ kWh}$$

Energía auxiliar recuperada en el subsistema de distribución:

$$W_{CLF,dst,aux,rcr} = f_{CLF,aux,rep} \cdot W_{CLF,dst,aux,int} = 0,75 \cdot 301 = 225 \text{ kWh}$$

Energía recuperable para la calefacción del local:

$$W_{CLF,dst,aux,rcb} = (1 - f_{CLF,aux,rcp}) \cdot W_{CLF,dst,aux,int} = (1 - 0,75) \cdot 301 = 75 \text{ kWh}$$

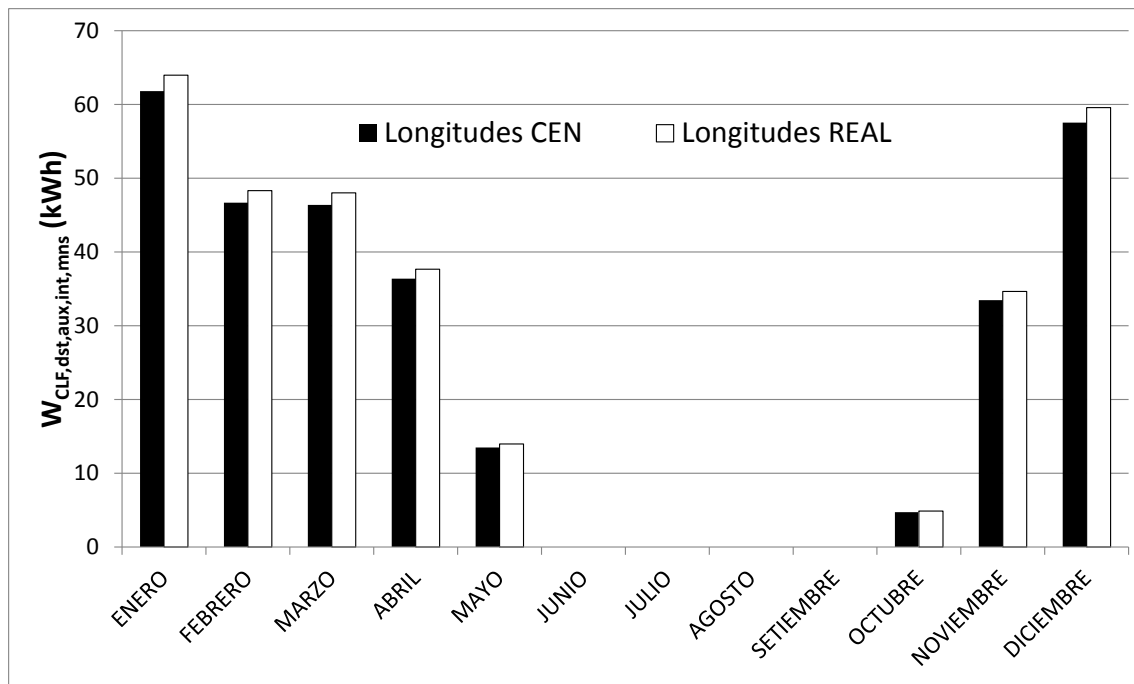
Para realizar los cálculos mensuales se opera según la ecuación 5-23

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

**Tabla 10.4:** Ejemplo de cálculo, datos del subsistema de distribución. Bloque 1

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	74,59	61,81	46,36	15,45
FEBRERO	0,32	56,34	46,69	35,02	11,67
MARZO	0,29	55,97	46,38	34,78	11,59
ABRIL	0,23	43,92	36,39	27,29	9,10
MAYO	0,08	16,29	13,50	10,13	3,38
JUNIO					
JULIO					
AGOSTO					
SETIEMBRE					
OCTUBRE	0,03	5,69	4,72	3,54	1,18
NOVIEMBRE	0,22	40,41	33,48	25,11	8,37
DICIEMBRE	0,36	69,44	57,54	43,16	14,39
TOTAL		363	301	225	75
kWh/m <sup>2</sup>	0,24	0,15	0,12	0,09	0,03

Realizando este procedimiento con los valores reales de la bomba de circulación del sistema de distribución para el bloque 1 (altura manométrica en el punto de diseño  $\Delta p_{CLF,hdr,dst} = 5 \text{ mca} = 49 \text{ kPa}$  y caudal nominal  $V_{CLF,dst} = 6,5 \text{ m}^3/\text{h}$ ) sale un valor superior para el consumo eléctrico anual (311,1 kWh) aproximadamente un 4% mayor.



**Imagen 10.3:** Consumo eléctrico bombas con valores tabulados de CEN y reales del edificio bloque 1.

Indicar por último, que si se quisiera utilizar los valores tabulados (obtenidos de las tablas no de la parametrización de las variables de la bomba) propuestos por las normas CEN (tabla 5.27) en el que se requiere simplemente el área de la zona calefactada y tipología de la bomba, no se podrían utilizar, pues el límite superior de área calefactada es de 1.000 m<sup>2</sup>.

Se puede afirmar por tanto que los valores propuestos y metodologías descritas para esa tabulación se han contrastado en construcciones con pocas plantas en altura.

Se calcula ahora la pérdida térmica del subsistema de distribución que depende de la temperatura media de impulsión y retorno, de la temperatura en los alrededores, del tipo de aislamiento y diámetro, de su longitud y lugar por donde discurran las tuberías.

$$Q_{CLF,dst,prd} = \sum_j q_{CLF,dst,prd,j} \cdot L_{CLF,j} \cdot t_{CLF,ON-OFF}$$

Los valores normalizados de pérdidas ( $q_{CLF,dst,prd,j}$ ) se diferencian entre dos, las distribuciones de tuberías que discurren por zonas calefactadas  $q_{CLF,dst,prd,clf}$  ( $T_{int}=20^{\circ}\text{C}$  tabla 5.29) y zonas no calefactadas  $q_{CLF,dst,prd,no\ clf}$  ( $T_{int}=13^{\circ}\text{C}$  tabla 5.29)

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

$$q_{CLF,dst,prd,no\ clf} = \sum_k \Psi_{no\ clf,k} \cdot (T_{CLF,dst,med}(\beta_{CLF,dst}) - T_{int,k})$$

Según los tres tipos de distribuciones tipificados en las normas CEN, serán tramos de tuberías que discurren por locales no calefactados  $L_{CLF,gnr}$  y tramos de tuberías que discurren por locales calefactados  $L_{CLF,edf}$  y  $L_{CLF,cnx}$ .

Los valores estimados de las longitudes de estas tuberías, en función de las dimensiones de la sección y su número de plantas del bloque, dan los siguientes valores:

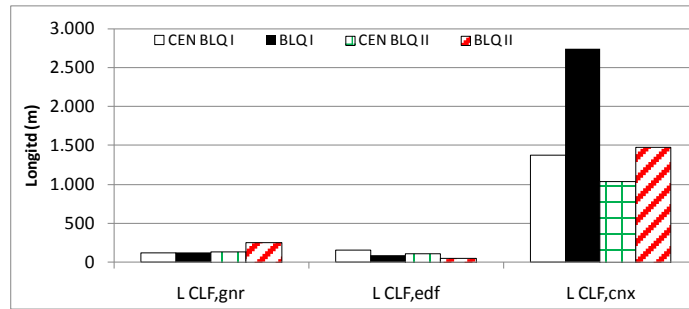
$$L_{CLF,gnr} = 2 \cdot L_{lrg} + 0,01625 \cdot L_{lrg} \cdot (L_{anch})^2 = 2 \cdot 50 + 0,01625 \cdot 49 \cdot (10)^2 = 122 \text{ m}$$

$$L_{CLF,edf} = 0,025 \cdot L_{lrg} \cdot L_{anch} \cdot h_{p\ln} \cdot n_{p\ln} = 156 \text{ m}$$

$$L_{CLF,cnx} = 0,55 \cdot L_{lrg} \cdot L_{anch} \cdot n_{p\ln} = 1.375 \text{ m}$$

De la comprobación de estos valores estimados y los valores reales (medidos en plano) se pueden obtener las siguientes conclusiones:

- Los valores estimados para  $L_{gnr}$  resultan muy parecidos a los reales siempre que esté el generador térmico sito en el edificio que va abastecer. Por ejemplo en este edificio, el bloque 2, está alejado de los generadores que se encuentran en el sótano del bloque 1. Si al valor estimado por las normas CEN para el bloque 2 (177 m) se le suma los metros de tubería que hay entre la sala de calderas y la distribución vertical por patinillo del bloque 2 (aproximadamente 200 m) se obtienen valores muy parecidos.
- Los valores estimados para  $L_{edf}$  se obtienen en los dos bloques mayores (no mucho) que los reales (están sobredimensionados)
- Los valores estimados para  $L_{cnx}$  resultan en los dos casos inferiores a los reales. En el bloque 1 la diferencia es más notoria. Queda por tanto demostrado que la forma del edificio es sensible para esta estimación, acercándose más en edificios con un número reducido de viviendas por plantas (edificios más compactos).



**Imagen 10.4:** Longitudes de las tuberías estimadas según normas CEN y reales.

Para locales no calefactados ( $L_{CLF,gnr}$ ) y para locales calefactados ( $L_{CLF,edf}$  y  $L_{CLF,cnx}$ ) los valores  $\Psi_{no\ clif} = 0,28\ W/mK$ ,  $\Psi_{clif} = 0,33\ W/mK$  se toman de las tablas 16.8 y 16.10 que coinciden con los valores de aislamiento realmente ejecutados.

Finalmente ya solo queda conocer la temperatura media del sistema de distribución. Se trata de un sistema en el que la emisión se conecta directamente a la distribución con temperatura de impulsión variable en función de las condiciones exteriores:

$$T_{ems,imp,med}(\beta_{CLF,dst}) = (T_{ems,imp,dst} - T_{int}) \cdot \beta_{CLF,dst}^{1/n} + T_{int} = (80 - 20) \cdot 0,24^{1/1,33} + 20 = 40,57^\circ C$$

$$T_{ems,med}(\beta_{CLF,dst}) = \Delta T_{CLF,ems,dst} \cdot \beta_{CLF,dst}^{1/n} + T_{int} = 50 \cdot 0,24^{1/1,33} + 20 = 37,14^\circ C$$

$$T_{ems,rtr,med}(\beta_{CLF,dst}) = (T_{ems,rtr,dst} - T_{int}) \cdot \beta_{CLF,dst}^{1/n} + T_{int} = (60 - 20) \cdot 0,24^{1/1,33} + 20 = 33,61^\circ C$$

Estas temperaturas medias en los emisores son iguales a las temperaturas en los circuitos de distribución.

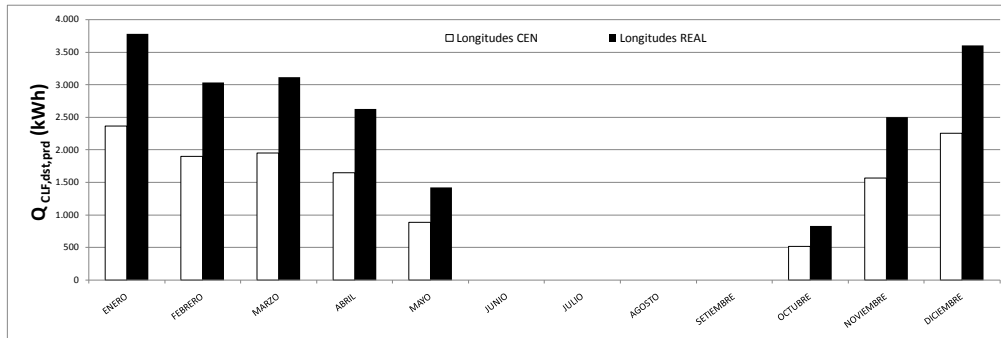
Realizando las operaciones y multiplicando por las horas de cada mes se obtienen los valores de pérdida de energía térmica en el subsistema de distribución del bloque 1 mostrados en la tabla siguiente.

**Tabla 10.5:** Bermeo bloque 1, datos del subsistema de distribución de CALEFACCION.

MES	$Q_{CLF,dst,sld}$	$Q_{CLF,dst,prd}$	$Q_{CLF,dst,prd,rep}$	$Q_{CLF,dst,ent}$
	kWh	kWh	kWh	kWh
ENERO	24.456	5.778	4.291	25.945
FEBRERO	18.474	4.575	3.387	19.663
MARZO	18.350	4.676	3.455	19.573
ABRIL	14.399	3.880	2.854	15.426
MAYO	5.342	1.913	1.362	5.892
JUNIO	0	0	0	0
JULIO	0	0	0	0
AGOSTO	0	0	0	0
SETIEMBRE	0	0	0	0
OCTUBRE	1.866	925	617	2.175
NOVIEMBRE	13.248	3.651	2.680	14.219
DICIEMBRE	22.768	5.481	4.065	24.185
TOTAL	118.901	30.880	22.711	127.077
kWh/m <sup>2</sup>	47,6	12,4	9,1	50,8

Se realiza la estimación de pérdidas térmicas en el subsistema de distribución (considerando los dos bloques) con las longitudes reales de la red de distribución, comprobando, como es lógico, que las pérdidas estimadas son mayores (la realidad de la instalación indicaba mas longitud de tuberías que la calculada según las normas CEN. Además mucha de la longitud que no se había estimado discurre por locales no calefactados, desde la sala de calderas, situada en el bloque 1, hasta los montantes del edificio 2), aproximadamente un 60 % mayores, en el edificio real.





**Imagen 10.5:** Pérdidas térmicas distribución calefacción con valores CEN y reales bloque 1 y 2.

Para el caso del subsistema de ACS de recirculación y los circuitos individuales las pérdidas térmicas se realizan de manera análoga al servicio de calefacción.

$$Q_{dst,prd,rcr,ON} = \sum_i \frac{1}{1.000} \cdot \psi_{ACS,tub} \cdot L_{ACS,tub} \cdot (T_{ACS,ag,med} - T_{ACS,alr,med}) \cdot t_{ag,rcr,ON}$$

Según los tres tipos de distribuciones tipificados en las normas CEN, serán tramos de tuberías de distribución horizontal desde el generador de calor a los tubos principales de suministro  $L_{ACS,gnr}$ , tubos principales de suministro  $L_{ACS,edf}$  y ramificaciones individuales a las tomas del usuario, circuitos individuales  $L_{ACS,cnx}$ .

Los tubos de sección  $L_{ACS,gnr}$  y  $L_{ACS,edf}$  constituyen parte de un circuito cerrado ( $L_{tub,rcr} = L_{ACS,gnr} + L_{ACS,edf}$ ). Los tubos de la sección  $L_{ACS,cnx}$  son parte de un circuito individual.

Los valores estimados de las longitudes de estas tuberías, en función de las dimensiones de la sección y su número de plantas del bloque, dan los siguientes valores:

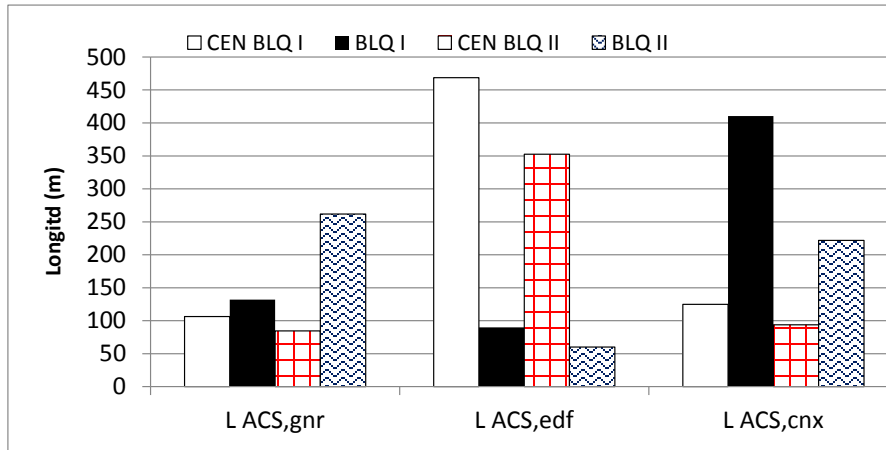
$$L_{ACS,gnr} = 2 \cdot L_{lrg} + 0,0125 \cdot L_{lrg} \cdot L_{anch} = 2 \cdot 50 + 0,0125 \cdot 50 \cdot 10 = 106 \text{ m}$$

$$L_{ACS,edf} = 0,075 \cdot L_{lrg} \cdot L_{anch} \cdot h_{pIn} \cdot n_{pIn} = 469 \text{ m}$$

$$L_{ACS,cnx} = 0,075 \cdot L_{lrg} \cdot L_{anch} \cdot n_{pIn} = 125 \text{ m}$$

De la comprobación de estos valores estimados y los valores reales (medidos en plano) se pueden obtener las siguientes conclusiones:

- Al igual que sucedía con el servicio de calefacción, los valores estimados para  $L_{gnr}$  resultan muy parecidos a los reales, siempre que el generador térmico esté sito en el edificio que va abastecer.
- Los valores estimados para  $L_{edf}$  resultan en los dos bloques muy superiores a los reales (están muy sobredimensionados). Realmente los valores estimados para este ramal de recirculación son tres veces superiores a los de calefacción y no parece esto lógico ( $0,075 \times L_{lrg} \times L_{anch} \times n_{pIn} \times h_{pIn} / 0,025 \times L_{lrg} \times L_{anch} \times n_{pIn} \times h_{pIn} = 3$ ).
- Los valores estimados para  $L_{cnx}$  resultan en los dos casos muy inferiores a los reales, sobre todo en el caso del bloque 2 (igual que sucedía con el servicio de calefacción). Por tanto queda demostrado que la forma del edificio es sensible a esta estimación, acercándose más en edificios con un número reducido de viviendas por plantas (edificios más compactos).



**Imagen 10.6:** Longitudes de las tuberías estimadas según normas CEN y reales.

Para el circuito de recirculación ( $L_{ACS,gnr}$  y  $L_{ACS,edf}$ ) y para circuitos individuales ( $L_{ACS,cnx}$ ) los valores  $\Psi_{no\ clif} = 0,28 \text{ W/mK}$ ,  $\Psi_{clif} = 0,33 \text{ W/mK}$  se toman de las tablas 16.9 y 16.10 que coinciden con los valores de aislamiento realmente ejecutados.

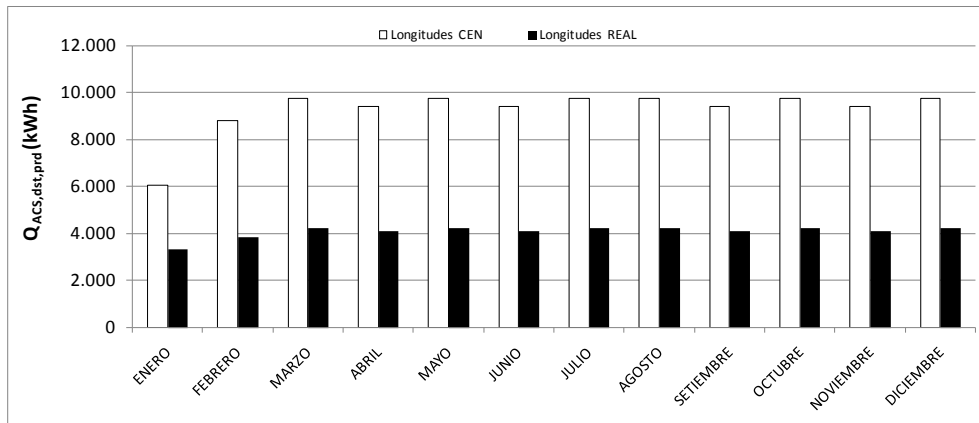
Finalmente ya solo queda conocer la temperatura media del sistema de distribución.  $T_{ACS,ag,med}$  se toma  $60^\circ\text{C}$  para circuitos cerrados y  $32^\circ\text{C}$  para los circuitos individuales.

Realizando las operaciones y multiplicando por las horas de cada mes se obtienen los valores de pérdida de energía térmica en el subsistema de distribución del bloque 1 mostrados en la tabla siguiente.

**Tabla 10.6:** Bermeo bloque 1 y 2, datos subsistema distribución de ACS.

mes	días	L <sub>gnr</sub>	L <sub>edf</sub>	L <sub>cnx</sub>	L <sub>gnr</sub>	L <sub>edf</sub>	L <sub>cnx</sub>	L <sub>gnr</sub>	L <sub>edf</sub>	L <sub>cnx</sub>	L <sub>gnr</sub>	L <sub>edf</sub>	L <sub>cnx</sub>	L <sub>gnr</sub>	L <sub>edf</sub>	L <sub>cnx</sub>	L <sub>gnr</sub>	L <sub>edf</sub>	L <sub>cnx</sub>	TOTAL	L <sub>gnr</sub>	L <sub>edf</sub>	L <sub>cnx</sub>	TOTAL	Q <sub>ACS,dst,ent</sub>	Q <sub>ACS</sub>		T <sub>red</sub>	Q <sub>ACS,dst,ent</sub>
		T <sub>air</sub> (°C)			m			W/mK			T <sub>dst</sub> (°C)		T (h)		Q <sub>ACS,dst,prd</sub> kWh/dfa				Q <sub>ACS,dst,prd</sub> kWh/mes				kWh/mes	l/mes	kWh/mes	°C	CON SOL		
enero	31	13	20	191	821	219	0,28	0,27	0,33	60	32	15	0,15	38	157	0,13	195	1186	4870	4	6.060	11.184	89.553	5.615	6	9.768			
febrero	28													38	157	0,13	195	4399	4399	4	8.801	13.335	80.887	4.978	7	10.666			
marzo	31													38	157	0,13	195	4870	4870	4	9.744	14.556	89.553	5.303	9	10.740			
abril	30													38	157	0,13	195	4713	4713	4	9.430	13.885	86.665	4.931	11	9.687			
mayo	31													38	157	0,13	195	4870	4870	4	9.744	14.244	89.553	4.991	12	8.541			
junio	30													38	157	0,13	195	4713	4713	4	9.430	13.684	86.665	4.729	13	7.731			
julio	31													38	157	0,13	195	4870	4870	4	9.744	14.036	89.553	4.783	14	7.302			
agosto	31													38	157	0,13	195	4870	4870	4	9.744	14.140	89.553	4.887	13	7.292			
septiembre	30													38	157	0,13	195	4713	4713	4	9.430	13.785	86.665	4.830	12	8.732			
octubre	31													38	157	0,13	195	4870	4870	4	9.744	14.348	89.553	5.095	11	10.108			
noviembre	30													38	157	0,13	195	4713	4713	4	9.430	14.087	86.665	5.132	9	11.927			
diciembre	31													38	157	0,13	195	4870	4870	4	9.744	14.868	89.553	5.615	6	13.256			
TOTAL														459	1.885	2	2.346	53.656	57.340	47	111.044	166.152		60.890		115.749			
TOTAL (kWh/m <sup>2</sup> )																					25,37	37,96		13,91		26,44			

Se realiza la estimación de pérdidas térmicas en el subsistema de distribución (considerando los dos bloques) con las longitudes reales de la red de distribución de ACS, comprobando, como es lógico, que las pérdidas estimadas son mayores (la realidad de la instalación indicaba mas longitud de tuberías que la calculada según las normas CEN. Además mucha de la longitud que no se había estimado discurre por locales no calefactados, desde la sala de calderas, situada en el bloque 1, hasta los montantes del edificio 2), aproximadamente el doble, en el edificio real.



**Imagen 10.7:** Pérdidas térmicas distribución de ACS con valores tabulados de CEN y reales.

La generación de ACS está apoyada por un campo solar de 90 m<sup>2</sup>. Se trata de una instalación solar de agua caliente sanitaria para una demanda de agua caliente de 2.889 l por día (se ha utilizado para calcular este valor de consumo de ACS el ratio utilizado por el programa CALENER VyP de 0,66 l/día m<sup>2</sup>), 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 Bermeo. El campo de captadores tiene un ángulo de inclinación de 45° y está orientado hacia el sur.

La tabla 10.7 enumera los valores mensuales de la temperatura media del aire exterior y la irradiación en el plano del captador en la zona de ubicación.

**Tabla 10.7:** Condiciones exteriores para el servicio de ACS.

MES	$E_{str.ent}$	$T_{ext.med}$
	kWh/m <sup>2</sup> /día	°C
enero	1,65	10,9
febrero	2,59	12,2
marzo	3,15	12,9
abril	3,47	14,0
mayo	4,37	16,9
junio	4,63	19,1
julio	4,99	22,0
agosto	5,07	22,2
septiembre	3,90	21,3
octubre	3,29	18,5
noviembre	2,08	14,1
diciembre	1,75	11,7
	40,95	

Las características del captador solar se establecieron de acuerdo con la Norma EN 12975-2. El área de la captación solar tiene una superficie de  $A_{cpt} = 90 \text{ m}^2$  (36 paneles de 2,5 m<sup>2</sup>), un factor de rendimiento óptico del captador de  $\eta_{opt} = 0,8026$ , un coeficiente de pérdida de calor de primer orden de  $a_1 = 3,527 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  y un coeficiente de pérdida de calor de segundo orden de  $a_2 = 0,011 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}^2)$ .

El volumen del depósito de acumulación solar es de  $V_{acm,slr} = 5.000l$ . Los tubos entre el depósito de acumulación solar y el calentador de apoyo están aislados.

Se determina el calor absorbido para el agua caliente sanitaria (se detalla sólo el cálculo con las pérdidas térmicas obtenidas con las longitudes de distribución de ACS teóricas propuestas por CEN, no las reales). Este está formado por la demanda de ACS y las pérdidas de calor de los tubos entre el calentador acumulador de servicio y los puntos de extracción, es decir, 455 kWh/día.

De acuerdo con el apartado 6.3.2, 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  $Q_{ACS,slr,abs,mns} = 455 \cdot 31 = 14.112$  kWh. La tabla enumera el calor mensual absorbido para agua caliente sanitaria.

**Tabla 10.8:** Demanda energética de cálculo para el servicio de ACS.

Mes	Días	$Q_{ACS,slr,std,mns}$
		kWh
Enero	31	14.112
Febrero	28	12.746
Marzo	31	14.112
Abril	30	13.656
Mayo	31	14.112
Junio	30	13.656
Julio	31	14.112
Agosto	31	14.112
Septiembre	30	13.656
Octubre	31	14.112
Noviembre	30	13.656
Diciembre	31	14.112
TOTAL		166.152
TOTAL (kWh/m <sup>2</sup> )		38

Se dispone ahora a determinar los factores X e Y del método f-chart.

$$X = \frac{A_{cpt} \cdot U_{cpt} \cdot \eta_{cpt} \cdot \Delta T_{slr,rfr} \cdot f_{slr,dps} \cdot t_{slr,mns}}{Q_{slr,abs,mns} \cdot 1.000} \quad Y = \frac{A_{cpt} \cdot IAM \cdot \eta_{opt} \cdot \eta_{cpt} \cdot I_{mns} \cdot t_{slr,mns}}{Q_{slr,abs,mns} \cdot 1.000}$$

Se calcula el factor de corrección del volumen del depósito de acumulación ecuación 7-11:

$$f_{slr,dps} = \left( \frac{V_{slr,rfr}}{V_{acm,slr}} \right)^{0,25} = \left( \frac{75 \cdot A_{cpt}}{V_{acm,slr}} \right)^{0,25} = \left( \frac{75 \cdot 90}{5.000} \right)^{0,25} = 1,08$$

El factor de eficiencia del circuito de captación no se conoce y se toma  $\eta_{cpt} = 0,83$  (ecuación 7-8)

Como no se conocen las características del circuito de captación,  $U_{tbs}$  se determina de acuerdo con la ecuación 7-12

$$U_{tbs,cpt} = 5 + 0,5 \cdot A_{cpt} = 50 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$

El coeficiente de la pérdida de calor total de los tubos del circuito de captación tampoco se conoce y se calcula según la ecuación 7-6

$$U_{cpt} = a_1 + a_1 \cdot 40 + \frac{U_{tbs,cpt}}{A_{cpt}} = 34,89 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$

Para el cálculo del  $\Delta T_{slr,rfr}$  se necesita calcular la temperatura de referencia

$$\Delta T_{slr,rfr} = T_{slr,rfr} - T_{ext,med}$$

$$T_{slr,rfr} = 11,6 + 11,8 \cdot T_{slr,ACS} + 3,86 \cdot T_{red} - 1,32 \cdot T_{ext,med}$$

$T_{slr,ACS}$  temperatura de ACS que se establece en 40 °C,  $T_{red}$  temperatura de red (°C) (idéntica para cada mes es de 13°C).

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 demandado (ecuación 7.4) por el agua caliente sanitaria y las características de la instalación citadas.

$$Q_{slr,sld,mns} = (a \cdot Y + b \cdot X + c \cdot Y^2 + d \cdot X^2 + e \cdot Y^3 + f \cdot X^3) \cdot Q_{slr,dmd,mns}$$

La potencia anual de la instalación es de 50.403 kWh.

**Tabla 10.9:** Energía entregada por el sol para los dos bloques.

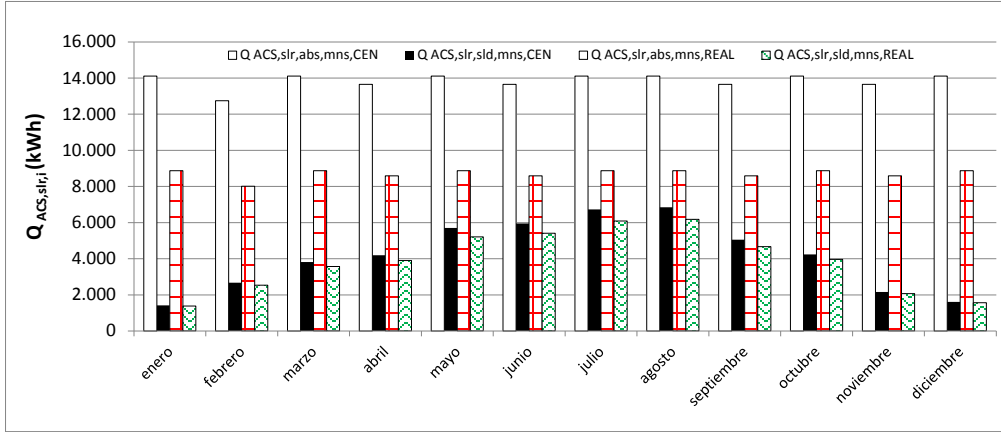
TOTAL	$Q_{ACS,slr,dmd,mns}$	$T_{rfr}$	X	Y	$Q_{ACS,slr,sld,mns}$
	kWh	°C			kWh
Enero	14.112	94,6	1,61	0,20	1.416
Febrero	12.746	92,9	1,55	0,32	2.670
Marzo	14.112	92,0	1,52	0,39	3.817
Abril	13.656	90,5	1,47	0,43	4.198
Mayo	14.112	86,7	1,34	0,54	5.703
Junio	13.656	83,8	1,24	0,57	5.953
Julio	14.112	79,9	1,11	0,62	6.734
Agosto	14.112	79,7	1,10	0,63	6.848
Septiembre	13.656	80,9	1,14	0,48	5.052
Octubre	14.112	84,6	1,27	0,41	4.240
Noviembre	13.656	90,4	1,46	0,26	2.160
Diciembre	14.112	93,5	1,57	0,22	1.612
TOTAL	166.152	166.152/50.403= 30,3 %			50.403
(kWh/m <sup>2</sup> )	37,96				11,5

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 275 W y el tiempo de funcionamiento anual de la bomba es de 5.475 h distribuidas entre los meses de acuerdo con la irradiación solar de la tabla anterior. Los valores para el consumo de la energía auxiliar se enumeran en la tabla. El total anual es de 1.506 kWh.

**Tabla 10.10:** Consumo de energía auxiliar para el servicio de ACS para los dos bloques.

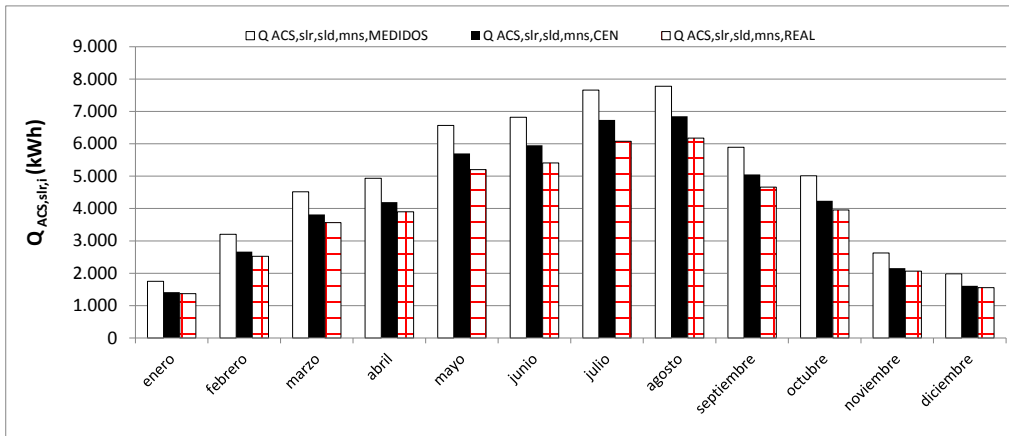
MES	$E_{slr,ent}$	$W_{slr,aux,mns}$
	kWh/m <sup>2</sup> /día	kWh
Enero	1,65	60,7
Febrero	2,59	95,3
Marzo	3,15	115,7
Abril	3,47	127,7
Mayo	4,37	160,5
Junio	4,63	170,4
Julio	4,99	183,5
Agosto	5,07	186,5
Septiembre	3,90	143,3
Octubre	3,29	121,0
Noviembre	2,08	76,6
Diciembre	1,75	64,4
<b>TOTAL</b>	40,95	1.506
	Total (kWh/m <sup>2</sup> )	0,34

Se muestra en la siguiente gráfica los valores que se obtendría si se partieran de los valores de demanda obtenidos con las pérdidas de energía del subsistema de distribución obtenidas de los valores reales tomados del edificio. Aunque las pérdidas estimadas son mayores (la realidad de la instalación indicaba menor longitud de tuberías que la calculada según las normas CEN) los valores estimados de aportación de energía por parte del campo de captación resultan muy próximos, solo una diferencia del 3%  $Q_{ACS,slr,sld,mns,CEN} \approx Q_{ACS,slr,sld,mns,REAL}$ .



**Imagen 10.8:** Energía aportada por el sol estimada en función de los valores reales y estimados

La siguiente gráfica muestra los valores estimados con los valores reales medidos en el edificio, comprobando la gran bondad del método f-char



**Imagen 10.9:** Energía aportada por el sol estimada en función de los valores reales y estimados y real medida

$$\text{GENERACION: } Q_{CLF,gen,sld} = Q_{CLF,dst,ent} = (223.120)_{CLF,B1yB2} + (115.749)_{ACS,B1yB2} \text{ kWh}$$

Se realiza ahora el cálculo de las pérdidas del subsistema de generación por el segundo (método de la eficiencia) de los tres métodos descritos en el apartado 5.23.

Se descarta el primero por no tener en consideración de forma independiente las pérdidas en paradas y arrancadas y pérdidas por la envolvente y el tercero (método cíclico), porque dando valores muy próximos al segundo, requiere de un número más elevado de variables independientes.

Como el agua caliente sanitaria se produce con un control de prioridad (lo habitual en los servicios mixtos), el cálculo se realiza 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.

Se calcula la energía auxiliar y la pérdida térmica recuperable. Como sólo hay instalado un generador, el factor de carga  $\beta_{CLF,gnr}$  se calcula mediante

$$\beta_{CLF,gen} = \frac{Q_{CLF,gen,sld}}{\phi_{gnr,Pn} \cdot t_{CLF,ON-OFF}} = \frac{223.120}{255 \cdot 3402} = 0,26$$

Si  $0 \leq \beta_{CLF,gen} = 0,26 \leq \beta_{CLF,int} = 0,3$  entonces  $P_{aux,gnr,P\beta}$  se da mediante

$$P_{aux,gnr,P\beta} = P_{aux,gnr,P_0} + \frac{\beta_{CLF,gen}}{\beta_{CLF,int}} \cdot (P_{aux,gnr,P_{int}} - P_{aux,gnr,P_0}) = 15 + \frac{0,26}{0,3} \cdot (150 - 15) = 130,74W$$

Y por tanto el consumo de energía auxiliar

$$W_{CLF,gen,aux} = W_{CLF,gnr,aux} = P_{aux,gnr,P\beta} \cdot t_{CLF,ON} + P_{aux,gnr,OFF} \cdot (t_{CLF,ON-OFF} - t_{CLF,ON})$$

$$W_{CLF,gen,aux} = 130 \cdot 3.402 + 15 \cdot (3.402 - 2.544) = 345W$$

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

$$Q_{CLF,gen,aux,rcp} = f_{CLF,gen,aux,rcp} \cdot W_{CLF,gen,aux} = 259W$$

La energía auxiliar recuperable transmitida al local calentado  $Q_{CLF,gen,aux,rcb}$  se calcula mediante (caldera en zona no calefactada  $b_{lcl}=1$ , tabla 5.36)

$$Q_{CLF,gen,aux,rcb} = f_{CLF,gen,rcb,aux} \cdot W_{CLF,gen,aux} \cdot (1 - b_{lcl}) = (1 - 0,75) \cdot 345 \cdot (1 - b_{lcl}) = 0$$

Y por tanto la energía recuperable verdaderamente recuperada es cero

$$Q_{CLF,gen,aux,rcb,rcp} = 0,8 \cdot Q_{CLF,gen,aux,rcb} = 0,8 \cdot 0 = 0 kWh$$

Al igual que en casos anteriores se realiza el cálculo mes a mes ( $\beta_{CLF,gnr,mns}$  diferente para cada mes).

**Tabla 10.11:** Datos del subsistema de generación (bloque 1 y 2) para el servicio de calefacción.

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	0,41	205	88,41	66	15	12
FEBRERO	0,35	173	60,81	46	11	9
MARZO	0,31	155	61,49	46	11	9
ABRIL	0,25	129	44,70	34	8	6
MAYO	0,09	57	13,85	10	2	2
JUNIO						
JULIO						
AGOSTO						
SETIEMBRE						
OCTUBRE	0,04	31	8,38	6	1	1
NOVIEMBRE	0,24	121	40,66	30	7	6
DICIEMBRE	0,38	191	80,62	60	14	11
TOTAL			399	299	0	0
kWh/m <sup>2</sup>			0,09	0,07		



Se calculan ahora las pérdidas térmicas en el subsistema de generación. 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 de trabajo de la instalación.

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

Para realizar esta corrección se calcula la temperatura media de operación del generador a plena carga ( $\Phi_{Pn}$ )

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

De la tabla 5.45 se obtiene que la  $T_{CLF,gnr,min} = 35^{\circ}\text{C}$ . Para el cálculo de la temperatura media del generador es necesario conocer cuáles son las temperaturas medias de impulsión y retorno del mismo. La temperatura de impulsión y retorno del circuito de distribución coincide con la de los emisores como ya quedo indicado y además  $V_{CLF,gnr}$  es igual que el caudal del circuito de generación  $V_{CLF,gen}$  entonces ( $V_{CLF,gnr} = V_{CLF,gen}$ )

$$T_{CLF,gnr,imp} = 80^{\circ}\text{C}$$

$$T_{CLF,gnr,rtr} = 60^{\circ}\text{C}$$

$$T_{CLF,gnr,med} = (T_{CLF,gnr,imp} + T_{CLF,gnr,rtr})/2 = 70^{\circ}\text{C}$$

Por tanto:

$$T_{CLF,gnr,corr,Px,med} = \max(T_{CLF,gnr,min}; T_{CLF,gnr,med}) = \max(35; 70) = 70$$

De la tabla 5.38  $T_{CLF,gnr,Pn,med,ens} = 70^{\circ}\text{C}$  y  $f_{corr,Pn} = 0,04\%/^{\circ}\text{C}$

$$\eta_{gnr,Pn,corr} = 92 + 0,04 \cdot (70 - 70) = 92$$

Finalmente la pérdida térmica del generador corregida a plena carga  $\Phi_{gnr,prd,Pn,corr}$  se calcula mediante ecuación 5-103

$$\phi_{gnr,prd,Pn,corr} = \frac{100 - \eta_{gnr,Pn,corr}}{\eta_{gnr,Pn,corr}} \cdot \phi_{Pn} = \frac{100 - 92}{92} \cdot 255 = 22,17 \text{ kW}$$

Se analiza ahora el cálculo de la pérdida térmica del generador a carga intermedia para lo que se necesita la eficiencia a carga intermedia  $\eta_{gnr,Pint}$  corregida a la temperatura media real de trabajo de la instalación.

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

Con  $\eta_{gnr,Pint} = 92\%$ ,  $f_{corr,Pint} = 0,05 \%/^{\circ}\text{C}$  y  $T_{CLF,gnr,Pint,med,ens} = 40^{\circ}\text{C}$  y  $T_{CLF,gnr,Pint,med,corr}$

$$T_{CLF,gnr,Pint,med,corr} = \max(35; 70) = 70^{\circ}\text{C}$$

$$\eta_{gnr,Pint,corr} = 92 + 0,05 \cdot (40 - 70) = 90,5$$

La pérdida térmica del generador corregida a carga intermedia  $\Phi_{gnr,prd,Pint,corr}$  se calcula mediante

$$\phi_{gnr,prd,Pint,corr} = \frac{100 - \eta_{gnr,Pint,corr}}{\eta_{gnr,Pint,corr}} \cdot \phi_{Pint} = \frac{100 - 90,5}{90,5} \cdot 255 \cdot 0,3 = 8,03 \text{ kW}$$

Se calcula a continuación la pérdida térmica del generador corregida a la temperatura real de trabajo cuando la caldera esta parada, es decir al 0% carga,  $\Phi_{\text{gnr,prd,P0,corr}}$

$$\phi_{\text{gnr,prd,P0,corr}} = \left( \frac{T_{\text{CLF,gnr,med}} - T_{\text{sdC}}}{\Delta T_{\text{gnr,P0,ens}}} \right)^{1,25} \cdot \phi_{\text{gnr,prd,P0}}$$

La pérdida térmica en espera a carga 0% nominal,  $\Phi_{\text{gnr,prd,P0}}$ , a la diferencia de temperatura de ensayo,  $\Delta T_{\text{gnr,ens,P0}}$ , se calcula mediante (caldera de baja temperatura fabricada después de 1994 con quemador de tiro forzado  $C_5 = 5$  y  $C_6 = -0,35$  y  $\Delta T_{\text{gnr,ens,P0}} = 50^\circ\text{C}$ ):

$$\phi_{\text{gnr,prd,P0}} = \phi_{\text{gnr,Pn}} \cdot \frac{C_5}{100} \cdot \left( \frac{\phi_{\text{gnr,Pn}}}{1.000} \right)^{C_6} = 255 \cdot \frac{5}{100} \cdot \left( \frac{255}{1.000} \right)^{-0,35} = 1,83 \text{ kW}$$

Y por tanto el valor corregido a la temperatura real de trabajo es:

$$\phi_{\text{gnr,prd,P0,corr}} = \left( \frac{T_{\text{CLF,gnr,med}} - T_{\text{sdC}}}{\Delta T_{\text{gnr,ens,P0}}} \right)^{1,25} \cdot \phi_{\text{gnr,prd,P0}} = \left( \frac{70-13}{50} \right)^{1,25} \cdot 1,83 = 2,16 \text{ kW}$$

Por tratarse de una caldera situada en la sala de caldera la  $T_{\text{sdC}}$  es de  $13^\circ\text{C}$ :

La potencia real  $\Phi_{\text{gnr,P}\beta}$  de la caldera se da mediante

$$\phi_{\text{CLF,gen,sld}} = \frac{Q_{\text{CLF,gen,sld}}}{t_{\text{CLF,ON-OFF}}} = \frac{223.120}{3.402} = 65,6 \text{ kW}$$

Como  $0 (\beta_{\text{gnr}} = 0) < \Phi_{\text{CLF,gen,sld}} = 65,6 \text{ kW} < \Phi_{\text{Pint}} (\beta_{\text{gnr}} = \beta_{\text{int}} = 0,3 * \Phi_{\text{Pn}} = 0,3 * 255 = 76,5 \text{ kW})$ , la pérdida térmica media del generador  $\Phi_{\text{gnr,prd,P}\beta}$  se calcula mediante

$$\phi_{\text{CLF,gnr,prd,P}\beta} = \frac{\phi_{\text{gnr,P}\beta}}{\phi_{\text{gnr,Pint}}} \cdot (\phi_{\text{CLF,gnr,prd,Pint,corr}} - \phi_{\text{CLF,gnr,prd,P0,corr}}) + \phi_{\text{CLF,gnr,prd,P0,corr}}$$

$$\phi_{\text{CLF,gnr,prd,P}\beta} = \frac{65,6}{76,5} \cdot (8,03 - 2,16) + 2,16 = 7,19 \text{ kW}$$

La pérdida térmica total de la caldera  $Q_{\text{gnr,prd}}$  durante el tiempo de operación considerado  $t_{\text{CLF,ON-OFF}}$  de la caldera se calcula mediante

$$Q_{\text{CLF,gen,prd}} = Q_{\text{CLF,gnr,prd}} = \phi_{\text{CLF,gnr,prd,P}\beta} \cdot t_{\text{CLF,ON-OFF}} = 7,19 \cdot 3.402 = 24.470 \text{ kWh}$$

Las pérdidas térmicas recuperables a través de la cubierta del generador  $Q_{\text{gnr,prd,env,rcb}}$  se calculan mediante

$$Q_{\text{CLF,gen,prd,env,rcb}} = \phi_{\text{gnr,prd,P0,corr}} \cdot (1 - b_{\text{lcl}}) \cdot f_{\text{gnr,env}} \cdot t_{\text{CLF,ON-OFF}}$$

Las pérdidas térmicas a través de la cubierta del generador valen  $f_{\text{gnr,env}} = 0,75$  ( tabla 5.44) y el factor de reducción de temperatura vale  $b_{\text{lcl}} = 0,3$  (tabla 5.36 sala caldera) y por tanto:

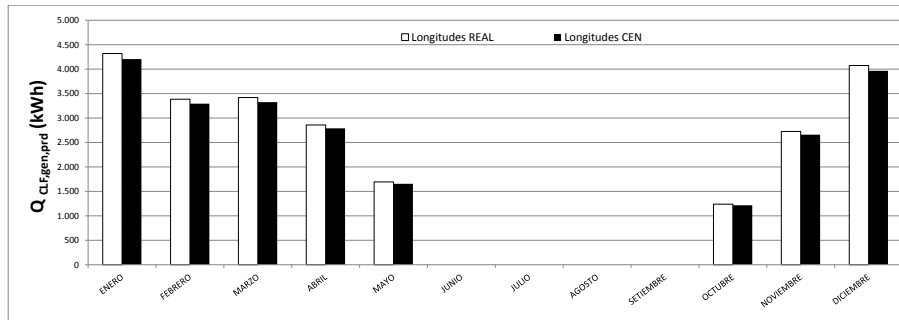
$$Q_{\text{CLF,gen,prd,env,rcb}} = 2,16 \cdot (1 - 0,3) \cdot 0,75 \cdot 3.402 = 3.857 \text{ kWh}$$

Se reproducen los cálculos para la estimación no anual sino mensual

**Tabla 10.12:** Datos generación método de la eficiencia para el servicio de calefacción (bloque 1 y 2).

MES	T <sub>imp</sub>	T <sub>med</sub>	T <sub>trf</sub>	η <sub>Pn,cor</sub>	Φ <sub>prd,Pn,cor</sub>	η <sub>Pint,cor</sub>	Φ <sub>prd,Pint,cor</sub>	Φ <sub>prd,P0,cor</sub>	Φ <sub>gnr</sub>	Φ <sub>prd,Px</sub>	Q <sub>CLF,gen,prd</sub>	Q <sub>gnr,prd,env,rcb</sub>	E <sub>CLF,ent</sub>	
	°C			-	kW		-		kW		kWh			
ENERO	80	70	60	92	22,17	90,50	8,03	2,16	104,33	9,84	4,272	489,7734468	49,082	
FEBRERO									88,15	8,52	3,340	394,539721	37,525	
MARZO									79,00	7,77	3,372	445,5577884	37,248	
ABRIL									64,56	6,72	2,823	382,0686379	29,594	
MAYO									23,78	3,84	1,667	198,4035953	11,815	
JUNIO														
JULIO														
AGOSTO														
SEPTIEMBRE														
OCTUBRE	80	70	60	92	22,17	90,50	8,03	2,16	9,30	2,82	1,223	129,2457707	5,149	
NOVIEMBRE									60,10	6,41	2,691	367,3300851	27,602	
DICIEMBRE									97,43	9,28	4,027	477,3023636	45,857	
TOTAL											23,413	2,884	243,872	
											kWh/m <sup>2</sup>	5,3	0,7	55,7

Se muestra en la siguiente gráfica los valores que se obtendría si se partieran de los valores de demanda obtenidos con las pérdidas de energía del subsistema de distribución obtenidas de los valores reales tomados del edificio. Aunque las pérdidas estimadas son mayores (la realidad de la instalación indicaba menor longitud de tuberías que la calculada según las normas CEN) los valores estimados de pérdidas térmicas del subsistema de generación resultan muy próximos, solo una diferencia del 1%  $Q_{CLF,gen,prd,sld,mns,CEN} \approx Q_{CLF,gen,prd,sld,mns,REAL}$ . Esto parece lógico pues estas pérdidas sólo dependen del estado de carga de la caldera y las prestaciones de la misma.



**Imagen 10.10:** Pérdidas de energía en el generador en función de los valores reales y estimados para el servicio de calefacción

De la misma forma se obtendría el consumo de energía auxiliar y las pérdidas térmicas para el subsistema de generación para abastecer el servicio de ACS. En este caso  $\Phi_{gnr,Pn}=85$  kW y  $t_{ACS,ON-OFF} = 5.475$  h.

Además de esto hay que considerar la pérdida energética del depósito de acumulación de servicio de ACS (4,38 W/K). Se muestran los valores obtenidos tras los cálculos en las siguientes tablas.

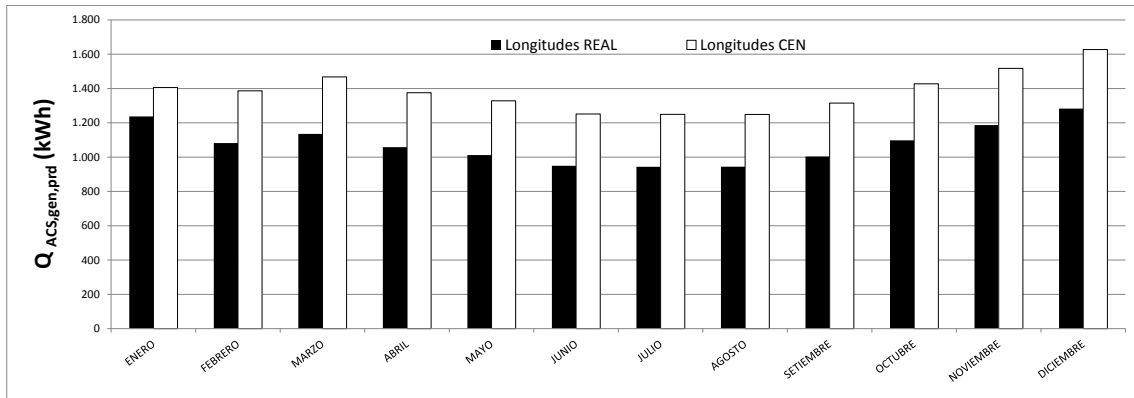
**Tabla 10.13:** Datos del subsistema de generación bloque 1 y 2 para el servicio de ACS.

MES	β <sub>CLF,gen</sub>	P <sub>aux,gnr,Pβ</sub>	W <sub>CLF,gen,aux</sub>	Q <sub>CLF,gen,aux,rcp</sub>	Q <sub>CLF,gen,aux,rcb</sub>	Q <sub>CLF,gen,aux,rcb,rcp</sub>
	-	W	kWh	kWh	kWh	kWh
ENERO	0,15	75,29	56,02	42	0	0
FEBRERO	0,19	75,36	50,64	38	0	0
MARZO	0,17	75,32	56,04	42	0	0
ABRIL	0,16	75,30	54,22	41	0	0
MAYO	0,14	75,26	55,99	42	0	0
JUNIO	0,13	75,24	54,17	41	0	0
JULIO	0,12	75,22	55,96	42	0	0
AGOSTO	0,12	75,22	55,96	42	0	0
SEPTIEMBRE	0,14	75,27	54,20	41	0	0
OCTUBRE	0,16	75,30	56,03	42	0	0
NOVIEMBRE	0,19	75,37	54,27	41	0	0
DICIEMBRE	0,21	75,40	56,10	42	0	0
TOTAL			660	495	0	0
kWh/m <sup>2</sup>			0,15	0,11		

**Tabla 10.14:** Datos de generación por el método de la eficiencia para el servicio de ACS.

MES	T <sub>imp</sub>	T <sub>med</sub>	T <sub>ret</sub>	η <sub>Pa,corr</sub>	Φ <sub>prd,Pa,corr</sub>	η <sub>Pint,corr</sub>	Φ <sub>prd,Pint,corr</sub>	Φ <sub>prd,P0,corr</sub>	Φ <sub>gnt</sub>	Φ <sub>prd,Px</sub>	Q <sub>ACS,gen,prd</sub>	Q <sub>ACS,gen,prd,dps</sub>	E <sub>CLF,ent</sub>
	°C			-	kW	-	kW	kW	kW	kW	kW	kW	kWh
ENERO	80	70	60	92	7,39	92,50	2,07	1,06	21,01	1,89	803	130	16,620
FEBRERO									25,39	2,06	725	118	15,012
MARZO									23,10	1,97	803	130	16,620
ABRIL									21,53	1,91	777	126	16,084
MAYO									18,37	1,79	803	130	16,620
JUNIO									17,18	1,74	777	126	16,084
JULIO									15,70	1,68	803	130	16,620
AGOSTO									15,68	1,68	803	130	16,620
SEPTIEMBRE									19,41	1,83	777	126	16,084
OCTUBRE									21,74	1,92	803	130	16,620
NOVIEMBRE									26,50	2,11	777	126	16,084
DICIEMBRE									28,51	2,19	803	130	16,620
TOTAL									21,19	1,9	9,454	1,535	195,692
									kWh/m <sup>2</sup>		2,16	0,35	44,71

Se muestra en la siguiente gráfica los valores que se obtendría si se partieran de los valores de demanda obtenidos con las pérdidas de energía del subsistema de distribución de ACS obtenidas de los valores reales tomados del edificio. Como las pérdidas estimadas son mucho mayores (la realidad de la instalación indicaba menor longitud de tuberías que la calculada según las normas CEN) los valores estimados de pérdidas térmicas del subsistema de generación resultan casi un 30% superiores.



**Imagen 10.11:** Pérdidas de energía en el generador en función de los valores reales y estimados para el servicio de ACS

Se muestran en las siguientes tablas el resumen de todos los cálculos detallados anteriormente.

**Tabla 10.15:** Bermeo energía del subsistema de emisión.

Mes	Q <sub>CLF</sub>			Q <sub>ACS</sub>			Q <sub>CLF,ems,ent</sub> = Q <sub>CLF,dst,sld</sub>		
	BLOQUE I	BLOQUE II	TOTAL	BLOQUE I	BLOQUE II	TOTAL	BLOQUE I	BLOQUE II	TOTAL
kWh									
Enero	21.098	15.923	37.021	3.207	2.408	5.615	24.456	18.457	42.912
Febrero	15.937	12.233	28.170	2.843	2.135	4.978	18.474	14.180	32.653
Marzo	15.830	12.063	27.894	3.029	2.274	5.303	18.350	13.983	32.333
Abril	12.422	9.550	21.972	2.816	2.114	4.931	14.399	11.070	25.469
Mayo	4.608	3.527	8.135	2.851	2.140	4.991	5.342	4.088	9.430
Junio	0	0	0	2.701	2.028	4.729	0	0	0
Julio	0	0	0	2.732	2.051	4.783	0	0	0
Agosto	0	0	0	2.791	2.096	4.887	0	0	0
Septiembre	0	0	0	2.759	2.071	4.830	0	0	0
Octubre	1.610	1.426	3.036	2.910	2.185	5.095	1.866	1.652	3.519
Noviembre	11.429	8.995	20.424	2.931	2.201	5.132	13.248	10.427	23.674
Diciembre	19.642	14.889	34.530	3.207	2.408	5.615	22.768	17.258	40.026
Total	102.576	78.606	181.181	34.778	26.111	60.890	118.901	91.116	210.017
kWh/m <sup>2</sup>	41,0	41,9	41,4	13,9	13,9	13,9	47,6	48,5	48,0
%	56,6%	43,4%	74,8%	57,1%	42,9%	25,2%			
% sobre Q <sub>CLF</sub>							15,9%	15,9%	15,9%

**Tabla 10.16:** Bermeo energía del subsistema de distribución.

Mes	Q <sub>CLF,dst.ent</sub>						Q <sub>ACS,dst.ent</sub>		E <sub>slr,sld</sub>		
	BLOQUE I		BLOQUE II		TOTAL		TOTAL		TOTAL		
	CEN	REAL	CEN	REAL	CEN	REAL	CEN	REAL	CEN	REAL	
	kWh										
Enero	25.945	26.882	19.336	19.811	45.281	46.692	11.184	8.478	1416	1373	
Febrero	19.663	20.404	14.892	15.284	34.555	35.688	13.335	8.384	2670	2526	
Marzo	19.573	20.329	14.714	15.121	34.286	35.450	14.556	9.074	3817	3568	
Abril	15.426	16.052	11.690	12.045	27.116	28.097	13.885	8.580	4198	3899	
Mayo	5.892	6.197	4.427	4.658	10.320	10.855	14.244	8.762	5703	5206	
Junio	0	0	0	0	0	0	13.684	8.379	5953	5409	
Julio	0	0	0	0	0	0	14.036	8.554	6734	6082	
Agosto	0	0	0	0	0	0	14.140	8.658	6848	6175	
Septiembre	0	0	0	0	0	0	13.785	8.480	5052	4661	
Octubre	2.175	2.317	1.862	2.036	4.037	4.354	14.348	8.866	4240	3956	
Noviembre	14.219	14.808	11.023	11.366	25.242	26.174	14.087	8.781	2160	2067	
Diciembre	24.185	25.073	18.099	18.556	42.284	43.629	14.868	9.386	1612	1557	
Total	127.077	132.062	96.043	98.876	223.120	230.939	166.152	104.383	50.403	46.479	
kWh/m <sup>2</sup>	50,8	52,8	51,2	52,7	51,0	52,8	37,96	23,8	11,5	10,6	
% Q <sub>CLF,ems</sub>	6,9%	11,1%	5,4%	8,5%	6,2%	10,0%					
							% Q <sub>ACS</sub>	172,9%	71,4%		
									f	30,3%	44,5%

**Tabla 10.17:** Bermeo energía del subsistema de distribución y generación contando la energía solar.

Mes	Q <sub>CLF,dst.ent</sub>		Q <sub>ACS,dst.ent</sub>		Q <sub>CLF,gen.ent</sub>		Q <sub>ACS,gen.ent</sub>		
	CEN	REAL	CEN	REAL	CEN	REAL	CEN	REAL	
	kWh								
Enero	45.281	46.692	9.768	7.105	48.583	50.118	11.262	8430	
Febrero	34.555	35.688	10.666	5.858	37.026	38.258	12.132	7020	
Marzo	34.286	35.450	10.740	5.506	36.664	37.930	12.295	6730	
Abril	27.116	28.097	9.687	4.681	29.111	30.142	11.148	5825	
Mayo	10.320	10.855	8.541	3.557	11.631	12.194	9.958	4657	
Junio	0	0	7.731	2.970	0	0	9.068	4005	
Julio	0	0	7.302	2.472	0	0	8.640	3504	
Agosto	0	0	7.292	2.483	0	0	8.629	3516	
Septiembre	0	0	8.732	3.819	0	0	10.133	4908	
Octubre	4.037	4.354	10.108	4.910	5.077	5.410	11.623	6096	
Noviembre	25.242	26.174	11.927	6.714	27.153	28.133	13.529	7987	
Diciembre	42.284	43.629	13.256	7.829	45.335	46.798	14.972	9200	
Total	223.120	230.939	115.749	57.905	240.579	248.985	133.389	71.879	
kWh/m <sup>2</sup>	51,0	52,8	26,4	13,2	55,0	56,9	30,5	16,4	
% Q <sub>CLF,ems</sub>	6,2%	10,0%							
			% Q <sub>ACS</sub>	90,1%	0%				
					% Q <sub>i,dst</sub>	7,8%	7,8%	13,2%	19,4%

**Tabla 10.18:** Bermeo energía del subsistema de generación resumen.

Mes	CEN			REAL		
	$E_{CLF,gen,ent}$	$E_{ACS,gen,ent}$	$E_{CLF-ACS,ent}$	$E_{CLF,gen,ent}$	$E_{ACS,gen,ent}$	$E_{CLF-ACS,ent}$
	kWh					
Enero	48.583	11.262	59.845	50.118	8.430	58.549
Febrero	37.026	12.132	49.158	38.258	7.020	45.278
Marzo	36.664	12.295	48.960	37.930	6.730	44.660
Abril	29.111	11.148	40.259	30.142	5.825	35.967
Mayo	11.631	9.958	21.589	12.194	4.657	16.852
Junio	0	9.068	9.068	0	4.005	4.005
Julio	0	8.640	8.640	0	3.504	3.504
Agosto	0	8.629	8.629	0	3.516	3.516
Septiembre	0	10.133	10.133	0	4.908	4.908
Octubre	5.077	11.623	16.700	5.410	6.096	11.506
Noviembre	27.153	13.529	40.682	28.133	7.987	36.120
Diciembre	45.335	14.972	60.306	46.798	9.200	55.998
Total	48.583	11.262	59.845	50.118	8.430	58.549
kWh/m <sup>2</sup>	55,0	30,5	85,4	56,9	16,4	73,3
%	64,1%	35,9%		77,4%	22,6%	

Como se ve en las anteriores tablas, y se advirtió en anteriores capítulos, la metodología desarrollada por las normas CEN obtiene la estimación del consumo parcializada, para cada uno de los servicios de calefacción y ACS, en los subsistemas de emisión, distribución y generación.

Esto permite tener una evaluación energética de los subsistemas, de tal forma, que se conoce cuál es el de mayor consumo, y por tanto, poder focalizar sobre el mismo las medidas de ahorro de energía.

Comparando los valores estimados de consumo con la metodología de las normas CEN, contra los reales del edificio, se comprueba que se aproximan bastante, tanto a partir de los datos reales del edificio, como con los datos propuestos (los que se han discutido que son aceptables para España) por las normas CEN.

Se puede afirmar por tanto, tras el desarrollo de la metodología CEN sobre este edificio, que el procedimiento de cálculo descrito en las normas CEN es consistente y se acerca (en este caso con valores mayores) con no mucho error a los consumos reales de los edificios, en el peor de los casos (aceptando los valores parametrizados por las normas CEN), un 26 % mayores (partiendo de las demandas de LIDER corregidas en función del horario de disposición real del servicio de calefacción y ACS).

**Tabla 10.19:** Consumo reales vs CEN con valores propuestos y reales.

CONSUMO REAL (kWh/año)	CEN TEORICO (kWh/año)	CEN REAL (kWh/año)
301.081	380.561	325.819
$\%_{CEN/REAL}$	126	108

En la siguiente gráfica se muestran los valores mensuales de consumo reales y los estimados por la metodología de las normas CEN

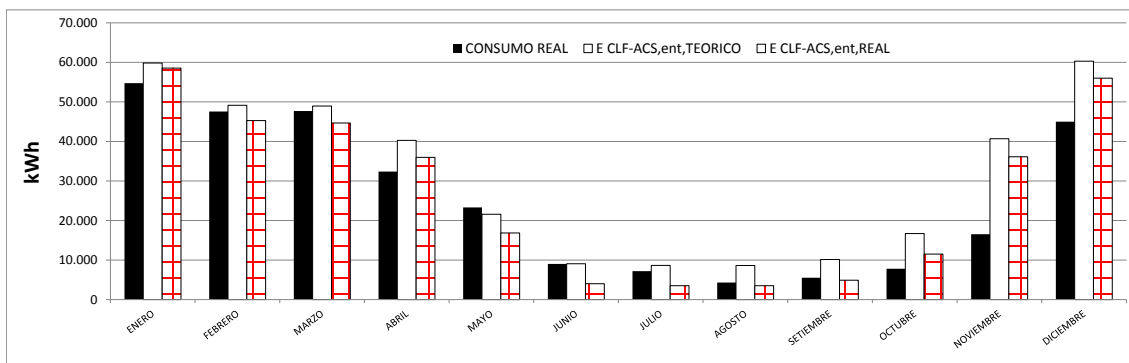


Imagen 10.12: Consumo reales vs CEN con valores propuestos y reales.

### 10.1.3. CALENER VyP

En el anterior capítulo ya se mostró que la estimación de los consumos generados por el programa CALENER VyP, son menores que los obtenidos por la metodología de las normas CEN. Queda claro, como se mencionó, a la no consideración, en el proceso, de los subsistemas de emisión y distribución, responsables (al menos en este edificio) de más del 50% de las pérdidas energéticas del sistema de calefacción (con respecto al valor calculado de la demanda).

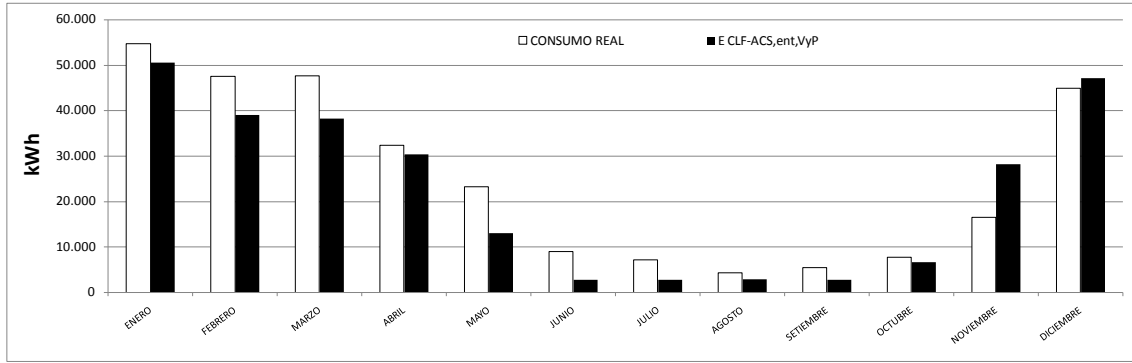
Introducido el edificio en el CALENER VyP (no se pueden editar los valores de demanda para ajustarlos a los horarios del edificio) los resultados obtenidos son los siguientes.

Tabla 10.20: Consumo reales vs VyP.

Mes	CALENER VyP			CONSUMO REAL
	$E_{CLF,gnr,ent,CLF}$	$E_{ACS,gnr,ent}$	$E_{CLF-ACS,ent,VyP}$	
	kWh			
Enero	47.243	3.354	50.473	54.741
Febrero	36.030	2.973	38.893	47.572
Marzo	35.137	3.168	38.187	47.687
Abril	27.502	2.945	30.338	32.373
Mayo	10.115	2.981	12.986	23.314
Junio	0	2.825	2.721	9.025
Julio	0	2.857	2.751	7.194
Agosto	0	2.919	2.811	4.318
Septiembre	0	2.885	2.778	5.524
Octubre	3.677	3.043	6.608	7.802
Noviembre	25.220	3.065	28.172	16.531
Diciembre	43.790	3.354	47.020	44.999
Total	228.714	36.370	263.739	301.081
$kWh/m^2$	52,3	8,3	60,3	68,3
%	86,7%	13,3%	% <sub>VyP/REAL</sub>	<b>88%</b>

Se comprueba que los valores reales del consumo del edificio, son mayores (301.081 kWh > 263.739 kWh, un 12 % menor la estimación) aunque se parta de demandas mayores para su estimación (las que el programa calcula con el horario de viviendas fijado reglamentariamente, ver apartado 14.2.1).

El solo considerar la eficiencia en el subsistema de generación supone no cuantificar y poder mejorar los otros dos subsistemas de emisión y distribución.

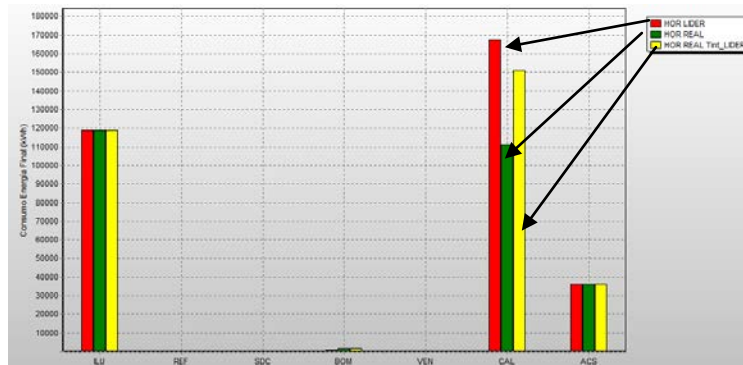


**Imagen 10.13:** Consumo reales vs CALENR VyP.

#### 10.1.4. CALENER GT

En este caso sí que se pueden ajustar los horarios de los termostatos de cada zona a los horarios reales del edificio y sus valores reales de consigna (horario de calefacción de 8 a 21h), además de los horarios de disposición de cada uno de los servicios. Por esta razón los valores estimados por CALENER GT resultan aun inferiores a los arrojados por CALENER VyP (supone por defecto más horas de funcionamiento).

En el siguiente gráfico se muestran los valores de consumo final facilitados por el programa en el caso de simular con los horarios propuestos en la certificación energética para el uso de viviendas (ocupación y niveles de consigna de termostato), HOR LIDER ( se ha obtenido una calificación energética del sistema mixto de calefacción y ACS (suponiendo que se trata de un edificio terciario, no sería la real de la vivienda, por realizarse la simulación en el programa CALENER GT de metodología autorreferente) C 4,6 Tn CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>), el verdadero del edificio (con los valores de consigna de termostato real asumidos en 21°C y horarios de disposición real de los servicios de calefacción y ACS), HOR REAL ( se ha obtenido una calificación energética del sistema mixto de calefacción y ACS B 3,1 Tn CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>), y corrigiendo los horarios de disposición de los equipos pero manteniendo los valores de consigna del termostato asumidos en CALENER VyP para viviendas, HOR REAL Tint\_LIDER ( se ha obtenido una calificación energética del sistema mixto de calefacción y ACS C 4,2 Tn CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>).



**Imagen 10.14:** Consumos servicio de calefacción con horarios sin corregir y corregidos

Como se aprecia en la anterior imagen para ajustarse al consumo real es fundamental el poder seleccionar los horarios de disposición de los servicios y horarios de funcionamiento y ocupación del edificio.

Advertir que la calificación energética en el programa CALENER GT (metodología autorreferente) depende de la edición de estos horarios.



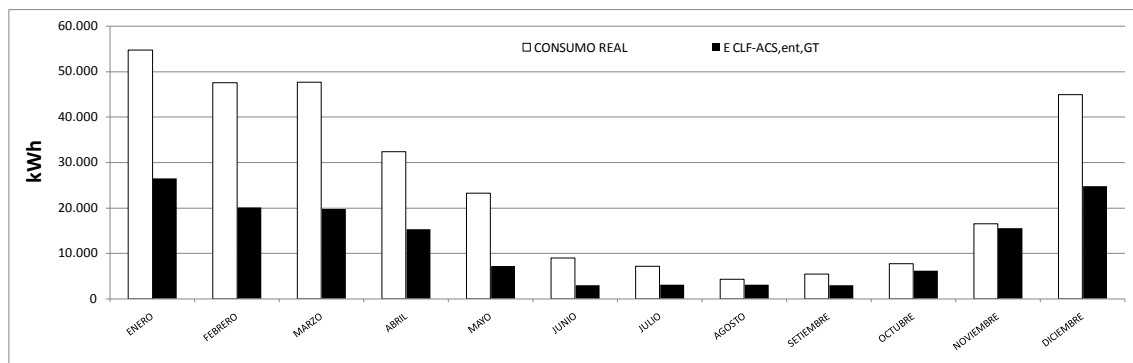
En este caso el programa no ofrece la posibilidad dentro de los generadores de calor de simular un sistema mixto. Se realiza por tanto la misma separación que se realizó en las normas CEN obteniendo los siguientes valores.

**Tabla 10.21:** Consumo reales vs GT.

Mes	CALENER GT			CONSUMO REAL
	E <sub>CLF,gnr,ent,CLF</sub>	E <sub>ACS,gnr,ent</sub>	E <sub>CLF-ACS,ent,GT</sub>	
	kWh			
Enero	23.403	3.083	26.487	54.741
Febrero	17.285	2.784	20.068	47.572
Marzo	16.659	3.084	19.743	47.687
Abril	12.312	2.979	15.291	32.373
Mayo	4.139	3.072	7.211	23.314
Junio	0	2.968	2.968	9.025
Julio	0	3.062	3.062	7.194
Agosto	0	3.062	3.062	4.318
Septiembre	0	2.965	2.965	5.524
Octubre	3.113	3.070	6.183	7.802
Noviembre	12.555	2.978	15.534	16.531
Diciembre	21.638	3.082	24.720	44.999
Total	111.104	36.190	147.294	301.081
kWh/m <sup>2</sup>	25,4	8,3	33,7	68,3
%	75,4%	24,6%	% <sub>GT/REAL</sub>	<b>49</b>

Se comprueba que los valores reales del edificio son mucho mayores (301.081 kWh > 183.332 kWh, un 51 % menor la estimación en CALENER GT) aunque se puedan ajustar a la perfección los horarios de las variables intervinientes en el cálculo. Esto es debido, igual que sucedía en CALENER VyP, a que en el programa CALENER GT no se tiene en cuenta las pérdidas de energía debidas al subsistema distribución (aunque como se vio sí que existen curvas correctoras para las unidades terminales) y la estimación de la demanda es inferior a la real del edificio, por no tener en cuenta, los puentes térmicos de la envolvente térmica.

En el gráfico se representan los valores estimados de consumo por el programa CALENER GT.



**Imagen 10.15:** Consumo reales vs CALENER GT.

Se muestra finalmente los valores reales del edificio frente a los estimados por CALENER y la metodología descrita por las normas CEN.

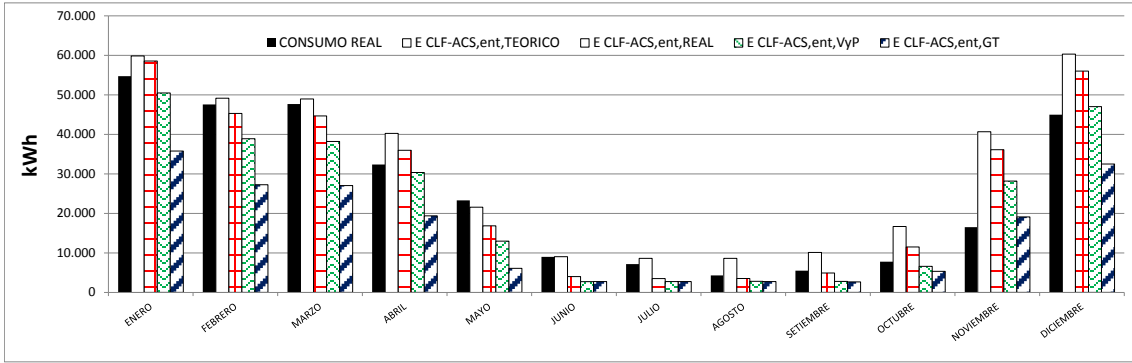


Imagen 10.16: Consumo reales vs estimados.

## 10.2. San Fernando

De igual forma que se han obtenido las comparativas del edificio de Bermeo se han hecho para el edificio de San Fernando. Solo se reproducen aquí los gráficos finales de consumo real y estimado por los diferentes métodos sobre el edificio rehabilitado de San Fernando. Se comprueba que las tendencias observadas anteriormente se vuelven a repetir aquí.

En la siguiente gráfica se muestran los valores mensuales de consumo reales y los estimados por la metodología de las normas CEN

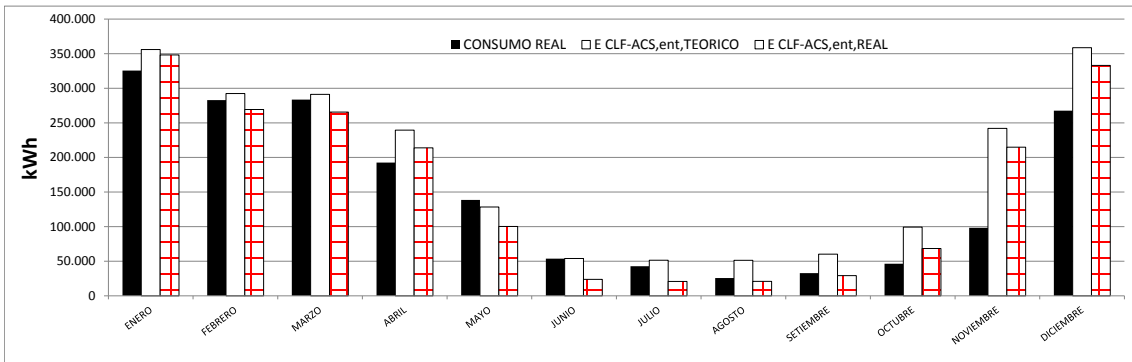


Imagen 10.17: Consumo reales vs CEN con valores propuestos y reales.

El solo considerar la eficiencia en el subsistema de generación supone no cuantificar y poder mejorar los otros dos subsistemas de emisión y distribución.

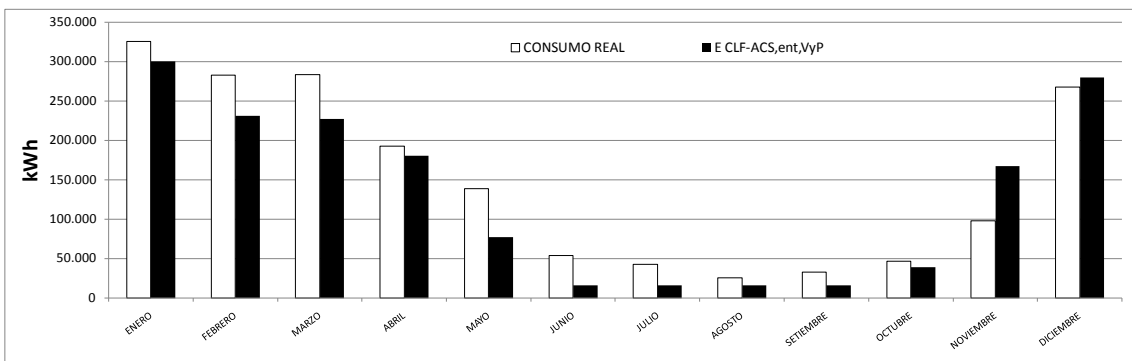
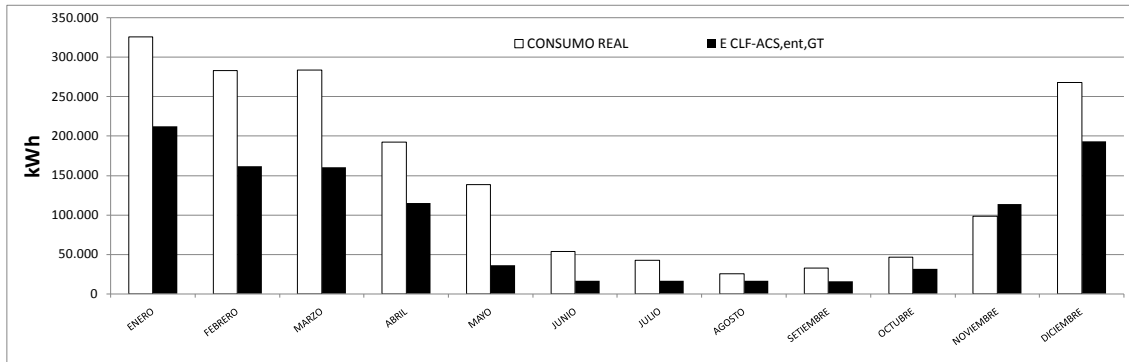


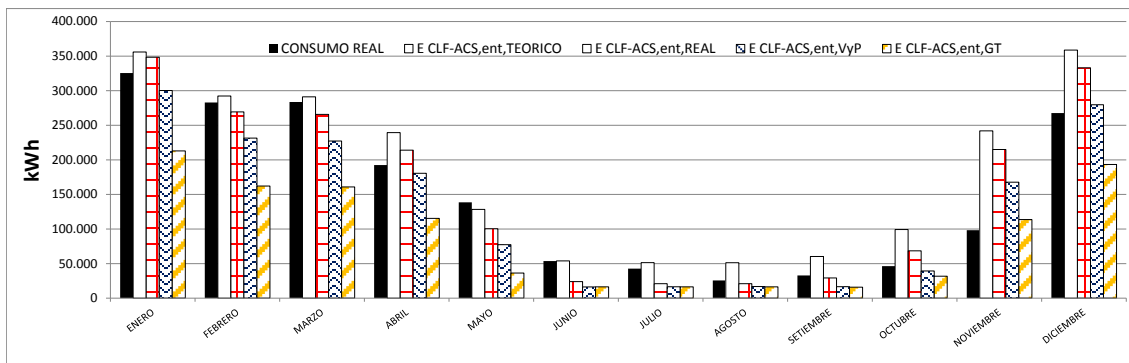
Imagen 10.18: Consumo reales vs CALENR VyP.

En el gráfico se representan los valores estimados de consumo por el programa CALENER GT.



**Imagen 10.19:** Consumo reales vs CALENER GT.

Se muestra finalmente los valores reales del edificio frente a los estimados por CALENER y la metodología descrita por las normas CEN.



**Imagen 10.20:** Consumo reales vs CALENER GT.

### 10.3. Conclusiones

Se ultiman en este apartado las conclusiones que se han ido esbozando en el estudio sobre los dos edificios reales descritos en este capítulo.

En general, los valores tomados por defecto (propuestos en las normas CEN) para las variables que no se conocen de la instalación y son necesarias para aplicar la metodología de las normas CEN, pueden aplicarse a nuestro país. El único que se debiera estudiar con más profundidad es la estimación de los valores de las longitudes de la red de tuberías a partir de las dimensiones del edificio, que como se ha comprobado, no es acertado para los ramales de conexiones interiores de las viviendas para el servicio de calefacción (estiman un valor más pequeño) y para el caso del servicio de ACS se sobrevalora en exceso los ramales de edificación y se infravalora las conexiones individuales dentro de las viviendas.

Todo parece indicar, que en muchos casos, los programas CALENER, estiman el consumo de un edificio acercándose poco al valor real del mismo. Suelen estimar, según los estudios realizados, un consumo de energía inferior (incluso en CALENER VyP en el que no se puede introducir el horario real del edificio), por no tener en cuenta las pérdidas de energía en los subsistemas de emisión y distribución. En las anteriores gráficas, por ejemplo, se vio para el servicio de ACS, en el que es muy estable la estimación de su demanda, que en los meses de verano, la diferencia entre el consumo estimado y el real es notoria. Esto es debido a que no se tienen en cuenta, en el programa CALENER, las pérdidas de energía del sistema de recirculación de ACS (esto no sucede con la metodología propuesta por la normas CEN).

La aplicación de la metodología descrita en las normas CEN para calcular el consumo energético sobre los edificios, estiman un consumo muy próximo al real de los edificios. Casi se acercan al consumo real (a partir de la demanda calculada por LIDER) si se utilizan los valores reales de las longitudes de las tuberías y no los parametrizados en función de las dimensiones del edificio.

En la tipología de instalaciones de estos dos edificios, sistema central de calefacción y agua caliente sanitaria para viviendas, es fundamental tener en cuenta las pérdidas de energía que tiene el subsistema de distribución del ACS (red de recirculación) por el gran número de horas que el agua está circulando por ellas (en el caso del edificio de Bermeo 15h y el de San Fernando 24h), haciendo caer drásticamente la eficiencia final del sistema mixto de calefacción y ACS.

Estas conclusiones están pendientes de ser publicadas en la revista indexada *Energy and Buildings* [10.6].

## 11. Propuesta

Se detalla en este capítulo, una propuesta, que consiste en considerar, dentro del procedimiento básico de certificación energética de los edificios en España (regulado según RD 235/2013 [11.1]), las pérdidas energéticas de todos los subsistemas térmicos de los sistemas de calefacción y agua caliente sanitaria (ACS).

### 11.1. Introducción

Como se ha comprobado en los anteriores capítulos, partiendo de la misma demanda de energía<sup>121</sup>, la estimación de los consumos realizada por los programas CALENER, es inferior a la estimación realizada según la metodología propuesta en las normas CEN<sup>122</sup>.

Esto es debido, básicamente, a que no se están considerando en España, las pérdidas energéticas de los subsistemas de emisión, distribución y generación.

En el caso del subsistema de emisión estas pérdidas pueden ser del orden del 15% del valor de la demanda<sup>123</sup>.

Para el subsistema de distribución, estas pérdidas podrían alcanzar, en el caso del servicio de calefacción, el 8% del valor de la energía necesaria para abastecer el subsistema de emisión<sup>124</sup> y más del 50% en redes de recirculación de ACS<sup>125</sup>.

En el subsistema de generación y concretamente en el caso de los generadores de calor no se están considerando las pérdidas existentes por su envolvente y chimenea, cuando estos se encuentran en periodos de disposición de servicio pero parados. Lógicamente estas pérdidas se tendrán que recuperar en su posterior arrancada [11.2]. Su orden de magnitud es cercano al 5% del valor de la energía necesaria para abastecer el subsistema de distribución<sup>126</sup>.

La forma actual que tienen los programas CALENER<sup>127</sup> para determinar el consumo de energía en los sistemas de calefacción y ACS es considerar el comportamiento horario de los elementos generadores para atender directamente la demanda de las zonas del edificio o de ACS, obviando las pérdidas que se producen en la emisión<sup>128</sup>, distribución y la generación<sup>129</sup> de energía.

Para determinar el consumo de los generadores se corrigen sus prestaciones (potencia entregada y rendimiento instantáneo de esa hora) para cada intervalo de tiempo considerado<sup>130</sup> en función de las condiciones operativas de funcionamiento según las curvas de comportamiento descritas en el Anexo II *Descripción de los programas de certificación (PSC<sup>131</sup>)*.

---

<sup>121</sup> Calculada con el programa LIDER.

<sup>122</sup> Conjunto de normas para contribuir a la implementación nacional por parte de los Estados miembros de la EPBD. M/480. Mandato de normalización para la elaboración y adopción de normas para una metodología de cálculo del rendimiento energético integrado de los edificios y la promoción de la eficiencia energética de los edificios, de conformidad con los términos establecidos en la refundición de la Directiva sobre el rendimiento energético de los edificios (2010/31/UE).

<sup>123</sup> Orden de magnitud que se ha obtenido sobre los edificios reales estudiados en esta tesis.

<sup>124</sup> Orden de magnitud que se ha obtenido sobre los edificios reales estudiados en esta tesis.

<sup>125</sup> Orden de magnitud que se ha obtenido sobre los edificios reales estudiados en esta tesis.

<sup>126</sup> Orden de magnitud que se ha obtenido sobre los edificios reales estudiados en esta tesis.

<sup>127</sup> Y en consecuencia todos los programas derivados.

<sup>128</sup> No aplica al servicio de ACS

<sup>129</sup> Recordar que los programas CALENER si tienen en cuenta las pérdidas térmicas de los sistemas de acumulación de ACS.

<sup>130</sup> Una hora.

<sup>131</sup> PSC: Programa de Simulación Computacional.

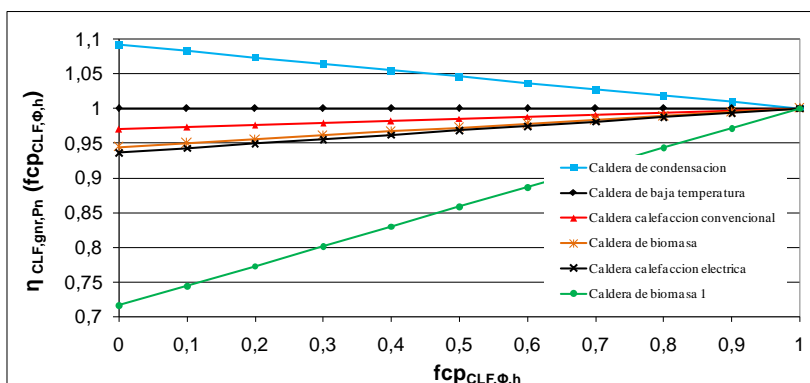
Actualmente sólo el rendimiento del generador<sup>132</sup> en función de su estado de carga ( $fcp^{133}$ ), como fracción de la potencia máxima que puede entregar<sup>134</sup> para el caso de calderas o como fracción del tiempo<sup>135</sup> para el caso de generadores de ACS (calentadores), es considerado para estimar su consumo.

Se recuerda a continuación la expresión para el caso del servicio de calefacción:

$$Q_{CLF,gen,ent,h} = \frac{\phi_{CLF,gnr,h}}{\eta_{CLF,gnr,h}} = \frac{Q_{CLF,gen,sld,h}}{\eta_{CLF,gnr,h}} = \frac{Q_{CLF,h}}{\eta_{CLF,gnr,Pn} \cdot \eta_{CLF,gnr,Pn}(fcp_{CLF,\phi,h})} \quad 11-1$$

donde:

- $Q_{CLF,gen,ent,h}$  Consumo energético (combustible) de la caldera en cada hora.
- $\Phi_{CLF,gnr,h}$  Potencia que debe entregar la caldera en cada hora<sup>136</sup> ( $Q_{CLF,gen,sld}$ ). Actualmente igual a la demanda del edificio en esa hora ( $\Phi_{CLF,gnr,h} = Q_{CLF,h}$ ). Si la demanda horaria es mayor en esa hora ( $Q_{CLF,h} > \Phi_{CLF,gnr,Pn}$ ) que la potencia nominal de la caldera, entonces, sólo podrá entregar su valor nominal ( $\Phi_{CLF,gnr,Pn}$ ).
- $\eta_{CLF,gnr,h}$  Rendimiento del generador en cada hora.
- $\eta_{CLF,gnr,Pn}$  Rendimiento nominal<sup>137</sup>.
- $\eta_{CLF,gnr,Pn}(fcp_{CLF,\phi,h})$  Factor de corrección del rendimiento con el factor de carga parcial en potencia. Varía dependiendo de la tipología de caldera según la imagen 11.1 que utilizan los programas por defecto. Los fabricantes pueden aportar las de cada producto específico.



**Imagen 11.1:** Rendimiento en función del estado de carga para el caso de calefacción. Representación gráfica que sigue las ecuaciones 14-11, 14-12, 14-13, 14-14, 14-15 y 14-16

<sup>132</sup> No se modifica la potencia entregada por la caldera en función de ninguna variable, siempre entrega la que le solicitan.

<sup>133</sup> Factor de carga parcial.

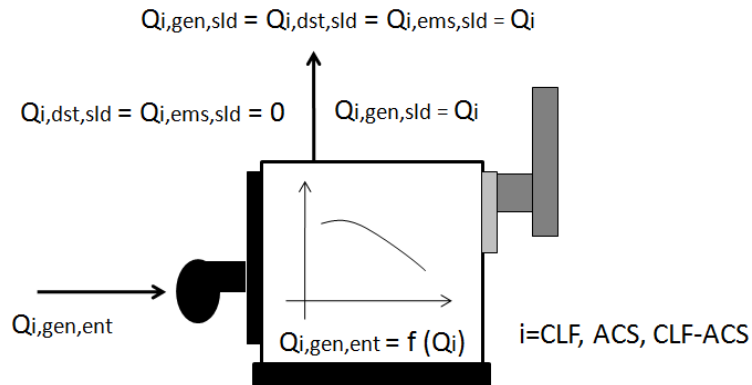
<sup>134</sup> Cociente entre la energía que debe de entregar la caldera en ese instante respecto a la máxima que podría entregar en ese instante  $fcp_{CLF,\phi} \cdot fcp_{CLF,\phi,h} = Q_{CLF,h} / \Phi_{CLF,gnr,h}$ . Valor calculado por el programa.

<sup>135</sup> Fracción de hora en la que el equipo estuvo funcionando  $fcp_{ACS,t}; fcp_{ACS,t,h} = t_{ACS,ON,h} / 1$ . Valor calculado por el programa.

<sup>136</sup> Intervalo de cálculo utilizado

<sup>137</sup> Rendimiento Útil: Relación entre el flujo calórico transmitido al agua de la caldera y el producto del poder calorífico inferior a presión constante del combustible por el consumo expresado en cantidad de combustible por unidad de tiempo. En ensayos se utiliza una temperatura de impulsión de 80°C y de retorno de 60°C (temperatura media de 70°C). La temperatura ambiente es de 20°C.

Por tanto, la energía de salida que tiene que entregar el subsistema de generación ( $Q_{i,gen,sld,h}$ ) en los programas CALENER, es igual a la demanda energética del edificio ( $Q_{i,h}$ ) en esa hora, obviando las pérdidas que tuvieran los subsistemas de generación, distribución<sup>138</sup> y emisión, esto es,  $Q_{i,gen,sld,h} = Q_{i,h}$ .



**Imagen 11.2:** Estimación actual del consumo por parte de los programas CALENER.

Sería recomendable, por tanto, considerar todos los subsistemas que las normas CEN proponen y no aceptar que  $Q_{i,gen,sld} = Q_{i,dst,sld} = Q_{i,ems,sld} = Q_i$  ( $Q_{i,gen,prd} = Q_{i,dst,prd} = Q_{i,ems,prd} = 0$ ).

Al ser más exhaustivos los cálculos realizados, el técnico certificador conocería mejor el consumo pormenorizado de los sistemas térmicos de un edificio y tendría más alternativas posibles a la hora de evaluar las medidas de ahorro energético. Se podría evitar así que las mejoras se centren exclusivamente en el generador y durante sus horas de funcionamiento. Se podrían así analizar una mejora del aislamiento en la red de distribución, la adecuación del tamaño y posición de los emisores así como una elección diferente en la temperatura de distribución. De esta forma se podría obtener un resultado de bienestar térmico similar al anterior minimizando el coste económico.

Indicar que la consideración de estos subsistemas, acercaría más el consumo estimado al consumo real, siendo más realistas las medidas de ahorro que se propongan en el edificio. De esta forma, los programas de certificación energética, podrían servir además como herramientas para la estimación de los ahorros energéticos planteados en las medidas propuestas tras una auditoría energética. Se convertiría así el proceso de certificación energética para edificios existentes en una primera diagnosis del edificio antes de afrontar la Auditoría Energética y posterior Gestión Energética.

Hará consciente además, al técnico certificador, sobre el orden de magnitud de las pérdidas de los subsistemas de emisión, distribución y generación.

El objetivo de este capítulo es proponer la forma de incluir, de forma sencilla, para su pronta incorporación, dentro del procedimiento básico español [11.1], las pérdidas térmicas que se tienen en los subsistemas de emisión, distribución y generación de los servicios de calefacción y ACS, utilizando las expresiones ya descritas en las normas CEN y adaptadas según los resultados de esta tesis.

<sup>138</sup> Como se mencionó en el punto 18.3 tabla 18.9 el programa Ce3 tiene en cuenta las pérdidas de distribución como un porcentaje de pérdidas con respecto a la potencia transportada función de la estimación del nivel de aislamiento y longitud de las tuberías. Esta forma es una aproximación que se adapta a lo legislado en el RITE pero es poco precisa y no sigue la metodología de las normas CEN. Además está siendo utilizada solo en el programa Ce3 para edificios Gran terciario Existentes y no en el programa de referencia CALENER.

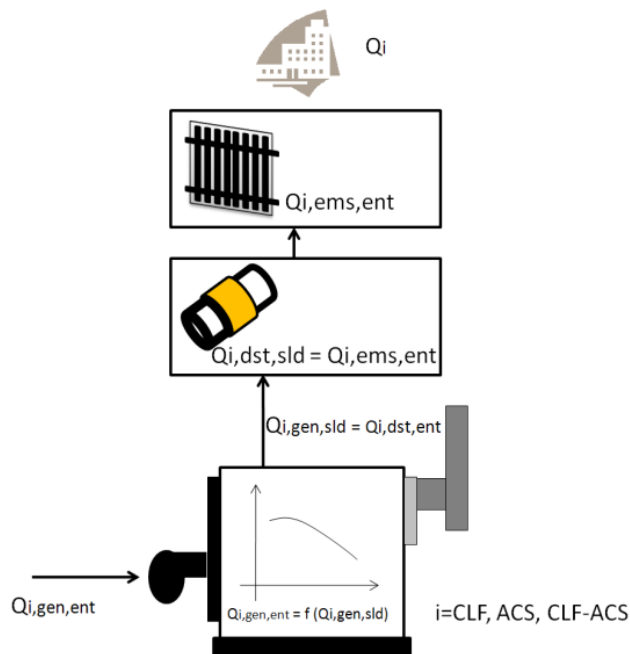
La propuesta aquí desarrollada para la adaptación de estos subsistemas al procedimiento actual es inmediata. Simplemente a la demanda horaria estimada por el programa mediante simulación dinámica ( $Q_i^{139}$ ) y que tienen que abastecer los generadores térmicos ( $Q_{i,gen,sld}$ ), se le sumaría (sistema aditivo) las pérdidas energéticas de los subsistemas de emisión ( $Q_{i,ems,prd}$ ), distribución ( $Q_{i,dst,prd}$ ) y las pérdidas por disposición de servicio ( $Q_{i,gen,prd,P0}$ ) para obtener el consumo total del generador ( $Q_{i,gen,ent}$ ) según la ecuación 11-2:

$$Q_{i,gen,ent,h} = \frac{\phi_{i,gnr,h}}{\eta_{i,gnr,h}} = \frac{Q_{i,gen,sld,h}}{\eta_{i,gnr,h}} = \frac{Q_{i,h} + Q_{i,ems,prd,h} + Q_{i,dst,prd,h} + Q_{i,gen,prd,P0,h-1}}{\eta_{i,gnr,Pn} \cdot \eta_{i,gnr,Pn} (fcp_{i,\theta,h})} \quad 11-2$$

El subíndice  $i$  indica el servicio analizado, calefacción (CLF), agua caliente sanitaria (ACS) o servicio mixto (ACS-CLF),  $\theta$  el factor de carga parcial en potencia ( $\Phi$ ) para el caso calefacción o fracción del tiempo ( $t$ ) para el servicio de ACS y  $h$  el intervalo de cálculo, la hora ( $h-1$  es la hora anterior).

Los anteriores términos ( $Q_{i,ems,prd}$ ,  $Q_{i,dst,prd}$  y  $Q_{i,gen,prd,P0}$ ) deberían calcularse de forma independiente para cada intervalo (periodo) de cálculo establecido en la herramienta considerada (la hora en el caso de los programas CALENER).

A continuación se analizan detalladamente dichos términos para los dos servicios considerados en esta propuesta, calefacción y ACS.



**Imagen 11.3:** Estimación propuesta para el consumo por parte de los programas CALENER.

## 11.2. Nuevas variables

Se desarrollan en este apartado las nuevas variables que se tendrían que considerar para tener en cuenta los anteriores subsistemas en el proceso de certificación energética en España, así como las ecuaciones a incluir en el proceso.

<sup>139</sup> En el caso de  $Q_{ACS}$  también se tiene en cuenta la pérdida energética de los depósitos de acumulación de ACS.



### 11.2.1. Subsistemas de emisión

Para tener en cuenta el incremento de la demanda de energía de entrada en el subsistema de distribución ( $Q_{CLF,dst,sld}$ ) debido al subsistema de emisión<sup>140</sup> habría que considerar las variables necesarias para consultar en las tablas 5.4 a 5.17 descritas en el método a partir del uso de indicadores de eficiencia (apartado 5.1.2.1).

Se ha descartado el método a partir del incremento de la temperatura interior porque está menos contrastado que el anterior y las variables independientes que se solicitan aún no están publicadas por muchos de los fabricantes que comercializan los emisores en España. Además de esto, hay que añadir, que sería un procedimiento más apropiado si el método de estimación del consumo en los programas CALENER<sup>141</sup> considerara la demanda y los sistemas de forma conjunta (método holístico).

Se ha desestimado considerar el consumo eléctrico de los sistemas auxiliares de los sistemas de emisión ( $W_{CLF,aux} = 0$ ). En el caso de viviendas, los valores propuestos de potencia, son muy bajos, como se ha comprobado en los dos edificios analizados<sup>142</sup> y observando los valores propuestos por la norma CEN (tabla 5.1).

Aceptado lo anterior, hay que conocer los parámetros necesarios para estimar las pérdidas energéticas del subsistema de emisión, de acuerdo a la ecuación 5-10 que se reproduce a continuación (ecuación 11-3).

En esta propuesta se considera que las viviendas tienen una altura libre inferior a 4 m ( $h < 4m$ ) y que disponen como unidades terminales de, radiadores eléctricos, radiadores de agua (en adelante radiadores) o cerramiento radiante.

$$Q_{CLF,ems,prd,h} = \left( \frac{f_{CLF,ems,hdr} \cdot f_{CLF,ems,int r} \cdot f_{CLF,ems,rdc}}{\eta_{CLF,emsr}} - 1 \right) \cdot Q_{CLF,h} = cte \cdot Q_{CLF,h} \quad 11-3$$

donde

- $Q_{CLF,ems,prd,h}$  Pérdidas térmicas del sistema de emisión en cada hora (kWh).
- $Q_{CLF,h}$  Demanda energética horaria (kWh). (Dato ya calculado).
- $\eta_{CLF,emsr}$  Nivel de eficiencia total del emisor de calor (-). Tablas 5-4, 5-6 y 5-9. Función del tipo de unidad terminal.
- $f_{CLF,ems,hdr}$  Factor para estimar el tipo de equilibrio hidráulico. Tablas 5.5, 5.8 y 5.10 (-). Función del número de emisores y tipo de equilibrado.
- $f_{CLF,ems,intr}$  Factor para estimar el funcionamiento intermitente. Tablas 5.5, 5.8 y 5.10 (-).
- $f_{CLF,ems,rdc}$  Factor para estimar el efecto de radiación, relevante para sistemas de calefacción radiante para espacios con grandes alturas ( $h > 4m$ ). Tablas 5.5, 5.8 y 5.10 (-). Para los subsistemas típico de viviendas, espacios de no grandes alturas ( $h < 4m$ ), vale uno,  $f_{CLF,ems,rdc} = 1$ .
- *cte* Esto es debido a que  $Q_{CLF,ems,prd}$  se obtiene como un porcentaje de la demanda de energía del edificio ( $Q_{CLF}$ ) y el mismo depende solamente de propiedades del elemento emisor (tipo de emisor, posición del emisor, salto térmico de diseño,...) que permanecen invariantes en el cálculo como se detallará a continuación.

<sup>140</sup> Este subsistema no se encuentra en el caso del servicio de ACS.

<sup>141</sup> Actualmente el programa CALENER calcula primero la demanda anual de energía y luego estima el consumo de energía de los sistemas que abastecen a esa demanda.

<sup>142</sup> Con válvulas con cabezal termostático.

Se analizan en detalle, en los siguientes puntos, las variables necesarias ( $\eta_{CLF,emsr}$ ,  $f_{CLF,ems,hdr}$ ,  $f_{CLF,ems,intr}$ ,  $f_{CLF,ems,rdc}$ ) para determinar el valor de  $Q_{CLF,ems,prd,h}$  para los tres tipos de unidad terminal considerados en las viviendas dentro de esta propuesta.

### 11.2.1.1. Radiadores eléctricos

Para el caso de radiadores eléctricos el nivel de eficiencia total del emisor de calor  $\eta_{CLF,emsr}$  se obtiene directamente de la tabla 5.10, que a continuación se reproduce (tabla 11.1), en función de la colocación del radiador eléctrico y tipo de control:

**Tabla 11.1:** RADIADOR ELECTRICO. Altura de la zona  $h \leq 4m$ .  $\eta_{CLF,emsr}$ .

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

Los valores de  $f_{CLF,ems,hdr}$  y  $f_{CLF,ems,intr}$ , para el caso de radiadores eléctricos, son los siguientes:

- $f_{CLF,ems,hdr} = 1$ . No procede evaluar el equilibrio hidráulico en este tipo de unidades terminales en las que no hay circulación de agua.
- $f_{CLF,ems,intr} = 0,97$ . Valor fijado por las normas CEN.

Por tanto la ecuación 11-3 para radiadores eléctricos quedaría como sigue:

$$Q_{CLF,ems,prd,rdc,rdc,elc,h} = \left( \frac{0,97}{\eta_{CLF,emsr}} - 1 \right) \cdot Q_{CLF,h} = \frac{0,97 - \eta_{CLF,emsr}}{\eta_{CLF,emsr}} \cdot Q_{CLF,h} \quad 11-4$$

donde

- $Q_{CLF,ems,prd,rdc,rdc,elc,h}$  Pérdidas térmicas del radiador eléctrico en cada hora (kWh).
- $Q_{CLF,h}$  Demanda energética horaria (kWh). (Dato ya calculado).
- $\eta_{CLF,emsr}$  Nivel de eficiencia total del emisor de calor (-). Tabla 11.1.

Se debería solicitar por tanto, dentro del procedimiento actual, la siguiente información en el caso de radiadores eléctricos como elemento emisor:

- **Posición del emisor:** Sobre una fachada exterior o un cerramiento interior (tabiquería).
- **Tipo de control:** A seleccionar entre los mostrados en la tabla 11.1
  - Controlador P (1 K) de calefacción directa
  - Controlador PI de calefacción directa (con optimización)
  - Calefacción por acumulación no regulada independiente de la temperatura exterior en la carga y descarga estática/dinámica
  - Controlador P (1 K) de calefacción por acumulación con carga dependiente de la temperatura externa y descarga estática/dinámica
  - Controlador PID de calefacción por acumulación con optimización con carga dependiente de la temperatura externa y descarga dinámica continua

En caso de desconocer estos dos datos se asignaría por defecto el valor más desfavorable, es decir, no disponer de regulación en pared interna  $\eta_{CLF,emsr} = 0,75$ .

### 11.2.1.2. Radiadores

Para obtener el nivel de eficiencia total del emisor  $\eta_{CLF,emsr}$ , en el caso de unidades terminales de agua (en este caso radiadores) sería necesario conocer las eficiencias parciales del gradiente vertical de temperatura  $\eta_{CLF,ems,str}$ , el control de la unidad terminal  $\eta_{CLF,ems,ctr}$  y la posición de la unidad terminal  $\eta_{CLF,ems,psc}$ , para poder utilizar la ecuación 5-11 que a continuación se reproduce:

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

donde,

- $\eta_{CLF,ems,str}$  Nivel de eficiencia parcial para un perfil de temperatura de aire vertical. Tablas 5.4 (radiadores).
- $\eta_{CLF,ems,ctr}$  Nivel de eficiencia parcial del control de la temperatura del recinto. Tablas 5.4 (radiadores).
- $\eta_{CLF,ems,psc}$  Nivel de eficiencia parcial para pérdidas específicas de los componentes externos. Tablas 5.4. Valor que no se aplica en el caso de radiadores,  $\eta_{CLF,ems,psc} = 1$ .

Se reproduce a continuación la tabla de emisiones parciales (tabla 5.4) para radiadores:

**Tabla 11.2: RADIADOR.** Eficiencias parciales para obtener la eficiencia total del emisor  $\eta_{CLF,emsr}$ .

Parámetros		Eficiencias		
		$\eta_{CLF,ems,str}^*$	$\eta_{CLF,ems,ctr}$	$\eta_{CLF,ems,psc}$
Regulación de la temperatura de la zona	Sin regulación, con regulación de la temperatura de impulsión central		0,80	
	Local principal		0,88	
	Controlador P (2 K) <sup>143</sup>		0,93	
	Controlador P (1 K) <sup>144</sup>		0,95	
	Controlador PI <sup>145</sup>		0,97	
	Controlador PI (gestión de presencia)		0,99	
$\Delta T_{ln,CLF,ems,dsh}$ (referencia $T_{int,rfr}=20^{\circ}C$ ) <sup>**</sup>	$\Delta T_{ln,CLF,ems,dsh} = (T_{ems,imp,dsh} + T_{ems,rr,dsh})/2 - T_{int,rfr}$	$\eta_{CLF,ems,str1}$	$\eta_{CLF,ems,str2}$	
	60 K (90/70)	0,88		
	42,5 K (70/55)	0,93		
	30 K (55/45)	0,95		
Posición del radiador ( $A_{vdr}$ =área acristalada)	Radiador en pared interna		0,87	1
	Radiador en pared externa:			1
	$A_{vdr}$ sin protección de radiación		0,83	
	$A_{vdr}$ con protección de radiación <sup>a</sup>		0,88	
	Pared externa normal		0,95	

a: La protección de la radiación necesita prevenir un 80% de las pérdidas de radiación del RADIADOR al área de la superficie acristalada por medio de aislamiento y/o reflexión.  
<sup>\*</sup>  $\eta_{CLF,ems,str} = (\eta_{CLF,ems,str1} + \eta_{CLF,ems,str2})/2$   
<sup>\*\*</sup> Se interpola para valores intermedios

<sup>143</sup> Controlador proporcional con ancho de banda de 2 K [5.31].

<sup>144</sup> Controlador proporcional con ancho de banda de 1 K [5.31].

<sup>145</sup> Controlador proporcional integral [5.31].

Los valores de  $f_{CLF,ems,hdr}$  y  $f_{CLF,ems,intr}$  para el caso de radiadores toman los siguientes valores:

- En sistemas de calefacción por agua para viviendas es habitual equilibrar con:
  - Retorno invertido o no equilibrado. En este caso  $f_{CLF,ems,hdr} = 1,03$ . Valor que se supondrá por defecto si no se aporta más información.
  - Equilibrado estático  $f_{CLF,ems,hdr} = 1,01$ .
- $f_{CLF,ems,intr} = 0,97$ . Valor propuesto por las normas CEN.

Por tanto la ecuación 11-3 para radiadores sería:

$$Q_{CLF,ems,prd,rdr,h} = Q_{CLF,h} \cdot (f_{CLF,ems,hdr} \cdot (2,91 - 0,97 \cdot (\eta_{CLF,ems,str} + \eta_{CLF,ems,ctr})) - 1) \quad 11-6$$

donde

- $Q_{CLF,ems,prd,rst,elc,h}$  Pérdidas térmicas del radiador en cada hora (kWh).
- $Q_{CLF,h}$  Demanda energética horaria (kWh). (Dato ya calculado).
- $f_{CLF,ems,hdr}$  Factor para considerar el tipo de equilibrio hidráulico.
- $\eta_{CLF,ems,str}$  Nivel de eficiencia parcial para determinar un perfil de temperatura de aire vertical. Tabla 11.2.
- $\eta_{CLF,ems,ctr}$  Nivel de eficiencia parcial para determinar el control de la temperatura del recinto. Tabla 11.2.

Las variables requeridas, por tanto, para el caso del radiador serían las siguientes:

- Regulación de la temperatura de la zona. Se trataría de seleccionar entre las siguientes opciones para obtener  $\eta_{CLF,ems,ctr}$ . Normalmente, con radiadores, se suele tener una de las dos primeras opciones como sistema de regulación:
  - Sin regulación o con regulación de la temperatura de impulsión en un generador central
  - Regulación solo en un local (es típico en España que esté en el salón)
  - Controlador proporcional con un sensibilidad de 2K o 1K [11.3]
  - Controlador proporcional integral [11.3]
  - Controlador proporcional integral con función de optimización (por ejemplo gestión de presencia) [11.3]

En caso de desconocer este dato se asignaría por defecto el valor más desfavorable, es decir, no tener regulación  $\eta_{CLF,ems,ctr} = 0,80$ .

- Incremento de temperatura logarítmica media. Se necesita para obtener  $\eta_{CLF,ems,str1}$ . Se calcula como  $\Delta T \ln_{CLF,ems,dsñ} \approx (T_{ems,imp,dsñ} + T_{ems,rr,dsñ})/2 - T_{int,rfr}$ , con una temperatura interior de referencia  $T_{int,rfr} = 20^\circ\text{C}$ .

El valor de  $\eta_{CLF,ems,str1}$  se puede obtener actualmente con los valores solicitados en el proceso de certificación, pues para obtenerlo, sólo es necesario conocer la temperatura de impulsión y retorno de los emisores.

Si no se conocieran se puede tomar por defecto una temperatura de impulsión de acuerdo al año de la instalación, suponiendo un salto térmico de 20K, según la siguiente tabla:

**Tabla 11.3:** Temperatura de impulsión según año

Año	$T_{\text{ems,imp,dstñ}} \text{ (}^\circ\text{C)}$	$\Delta T_{\text{InCLF,ems,dstñ}} \text{ (}^\circ\text{C ó K)}$	REGLAMENTO
Hasta 1980	90	60	- <sup>146</sup>
1980-1998	90	60	RICAS. RD 1618/1980 [11.4]
1998-2007	80	50	RITE. RD 1751/1998 [11.7]
Posterior 2007	70	40	RITE. RD 1027/2007* [11.8]

NOTA: En el caso de que se esté analizando una reforma de una instalación en la que sólo se cambie el generador y no los elementos emisores, el año correspondiente, es el de ejecución del emisor y no el de la reforma.  
\* Con una  $T_{\text{imp}}$  de 70 °C y un salto de 20K se consigue la temperatura media del emisor de 60 °C legislada por primera vez en el RITE en el año 2007

Se proponen estas temperaturas de impulsión porque para cada año, esa es la temperatura máxima que podrían alcanzar las tuberías (superficies vistas) que discurren por zonas habitadas por motivos de seguridad según la reglamentación de aplicación. Si se diseñan los emisores con estas temperaturas, las superficies exteriores de las tuberías nunca pueden estar por encima de dicha temperatura.

- **Posición del elemento emisor.** Hay que conocer simplemente la colocación típica del elemento emisor para poder obtener  $\eta_{\text{CLF,ems,str2}}$ 
  - En pared interna (tabiquería)
  - En pared externa. En esta caso, y solo si hay un hueco, hay que conocer si el área vidriada tiene o no protección frente a la radiación solar.

En caso de desconocer la situación de los radiadores de agua se deben suponer en pared externa sin protección a la radiación  $\eta_{\text{CLF,ems,str2}} = 0,83$  (valor más desfavorable).

- **Tipo de equilibrado.** Si el circuito emisor se encuentra equilibrado o no. En caso de estar equilibrado, el tipo de equilibrado, estático o mediante retorno invertido.

En caso de desconocer esta información se deben suponer que los circuitos hidráulicos están desequilibrados  $f_{\text{CLF,ems,hdr}} = 1,03$ .

### 11.2.1.3. Cerramiento radiante

Para obtener el nivel de eficiencia total del emisor  $\eta_{\text{CLF,emsr}}$ , en el caso de unidades terminales de cerramiento radiante, sería necesario conocer las eficiencias parciales del gradiente vertical de temperatura  $\eta_{\text{CLF,ems,str}}$ , el control de la unidad terminal  $\eta_{\text{CLF,ems,ctr}}$  y la posición de la unidad terminal  $\eta_{\text{CLF,ems,psc}}$ , para poder utilizar la ecuación 5-11 que a continuación se reproduce:

$$\eta_{\text{CLF,emsr}} = \frac{1}{\left(4 - \left(\eta_{\text{CLF,ems,str}} + \eta_{\text{CLF,ems,psc}} + \eta_{\text{CLF,ems,ctr}}\right)\right)} \quad 11-7$$

donde,

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

<sup>146</sup> Antes del RICACS no había reglamentación térmica. Las instalaciones de gasóleo se regían por un reglamento del 68, las de gas por otro del 73 y las eléctricas del 72.

Se muestra a continuación la tabla de emisiones parciales (tabla 5.6) para el caso de cerramiento radiante:

**Tabla 11.4:** CERRAMIENTO RADIANTE  $h \leq 4m$ . Eficiencias parciales.

Parámetros		Eficiencias parciales		
		$\eta_{CLF,ems,str}$	$\eta_{CLF,ems,entr}$	$\eta_{CLF,ems,psc}^*$
Regulación de la temperatura de la zona	<b>Calor transportado por medio del agua</b>			
	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 local principal		0,83	
	controladores de dos etapas/controlador P		0,88	
	controlado PI		0,93	
	<b>Calor transportado por resistencia eléctrica</b>			
	controlador de dos etapas		0,95	
	Controlador PI		0,91	
Sistema	Calefacción de suelo			$\eta_{CLF,ems,psc1}$
	con agua	1		0,93
	con resistencia eléctrica			0,96
	con resistencia eléctrica de baja cobertura			0,98
	Calefacción de pared	0,96		0,93
Calefacción de techo	0,93			
Pérdidas específicas de calor a través de las superficies contiguas	Sin aislamiento mínimo			0,86
	Aislamiento mínimo. Norma UNE EN 1264 [5.5]. Consultar tabla 11.5			0,95
	100% de aislamiento			0,99

\*  $\eta_{CLF,ems,psc} = (\eta_{CLF,ems,psc1} + \eta_{CLF,ems,psc2})/2$

**Tabla 11.5:** Resistencia térmica mínima del aislamiento Norma UNE EN 1264

Resistencia Térmica (espesor para $\lambda=0,04$ W/m2K)	Habitación calentada	Habitación no calentada o calentada internamente o directamente en el terreno*	Suelo al aire exterior. Temperatura exterior de diseño		
			$T_{ext,dsñ} \geq 0^\circ C$	$0^\circ C > T_{ext,dsñ} \geq 5^\circ C$	$-5^\circ C > T_{ext,dsñ} \geq -15^\circ C$
$m^2k/W(cm)$	0,75 (3)	1,25 (5)	1,75 (7)	2,00 (8)	

\*Con un nivel freático de agua  $\leq 5m$  el valor debería aumentarse

Los valores de  $f_{CLF,ems,hdr}$  y  $f_{CLF,ems,intr}$  para el caso de cerramientos radiantes son:

- $f_{CLF,ems,hdr} = 1$ . En sistemas radiantes eléctricos.  
En sistemas por agua se obtiene en función de su equilibrado:
  - Retorno invertido o no equilibrado  $f_{CLF,ems,hdr} = 1,03$ . Valor que se supondrá por defecto si no se aporta más información.
  - Equilibrado estático  $f_{CLF,ems,hdr} = 1,01$ .
- $f_{CLF,ems,intr} = 0,98$ . Valor más alto que en los casos anteriores ( radiadores) porque en un uso intermitente los cerramientos radiantes tienen un peor comportamiento, pues para alcanzar la temperatura operativa deseada, antes deben calentar las masa del cerramiento [11.9].

Por tanto la ecuación 11-3 para cerramientos radiantes quedaría como sigue:

$$Q_{CLF,ems,prd,crd,rdn,h} = Q_{CLF,h} \cdot \left( f_{CLF,ems,hdr} \cdot (3,88 - 0,98 \cdot (\eta_{CLF,ems,str} + \eta_{CLF,ems,psc} + \eta_{CLF,ems,ctr})) - 1 \right) \quad 11-8$$

donde

- $Q_{CLF,ems,prd,crd,rdn,h}$  Pérdidas térmicas del cerramiento radiante en cada hora (kWh).
- $Q_{CLF,h}$  Demanda energética horaria (kWh). (Dato ya calculado).
- $f_{CLF,ems,hdr}$  Factor para el equilibrio hidráulico.
- $\eta_{CLF,ems,str}$  Nivel de eficiencia parcial para un perfil de temperatura de aire vertical. Tablas 11.4.
- $\eta_{CLF,ems,psc}$  Nivel de eficiencia parcial para pérdidas específicas de los componentes externos. Tabla 11.4.
- $\eta_{CLF,ems,ctr}$  Nivel de eficiencia del control de la temperatura del recinto. Tablas 11.4.

Las variables requeridas, en el caso de cerramientos radiantes, dentro del proceso de certificación, serían las siguientes:

- Regulación de la temperatura de la zona. Se trataría de seleccionar entre las siguientes opciones. Con esto se obtendría  $\eta_{CLF,ems,ctr}$ .
  - Calor transportado por medio de agua
    - No regulada
    - No regulada, con regulación de la temperatura de impulsión central
    - No regulada con formación de valor promedio de zonas
    - Local principal
    - Controladores de dos etapas/controlador P
    - Controlado PI
  - Calor transportado por medio resistencia eléctrica
    - Controlador de dos etapas
    - Controlador-PI

Si no se facilita este dato, en el caso de cerramiento radiante con el calor transportado por agua, se toma el caso más desfavorable, esto es, que no exista regulación  $\eta_{CLF,ems,ctr} = 0,75$  y si es mediante resistencia eléctrica,  $\eta_{CLF,ems,ctr} = 0,91$ .

- Tipo de cerramiento radiante. Este dato se utiliza para obtener  $\eta_{CLF,ems,str}$  y  $\eta_{CLF,ems,psc1}$ . A elegir entre:
  - Calefacción de suelo (no le aplica el valor  $\eta_{CLF,ems,str}$ , es decir,  $\eta_{CLF,ems,str} = 1$ )
    - con agua
    - con resistencia eléctrica
    - con resistencia eléctrica de baja cobertura
  - Calefacción de pared
  - Calefacción de techo
- Nivel de aislamiento del suelo radiante. Si no se conoce el nivel de aislamiento (en cm para consultar la tabla 11.6) se supone que se encuentra sin aislar  $\eta_{CLF,ems,psc2} = 0,86$ .

- **Tipo de equilibrado.** Si el circuito emisor se encuentra equilibrado o no. En caso de estar equilibrado, el tipo de equilibrado, estático o mediante retorno invertido. Solo aplica en caso de cerramientos radiantes con agua como elemento calorpotador.

En caso de desconocer esta información se deben suponer que los circuitos hidráulicos están desequilibrados  $f_{CLF,ems,hdr} = 1,03$ .

#### 11.2.1.4. Resumen de los factores $f_i$

A continuación se propone una tabla resumen para obtener estos valores  $f_{CLF,ems,i}$  en función de los nuevos datos que se deberían solicitar en el proceso de certificación energética español.

**Tabla 11.6:** Propuesta de valores  $f_{CLF,ems,i}$

UNIDAD TERMINAL	$f_{CLF,ems,hdr}$		$f_{CLF,ems,intr}$	$f_{CLF,ems,rdc}$
	Retorno invertido. Sin equilibrar	Equilibrado estático		
Radiador	1,03*	1,01	0,97	1
Cerramiento radiante			0,98	
Radidor eléctrico	1	1	0,97	

\*Valor que se toma por defecto si no se conoce.

#### 11.2.2. Subsistema de distribución

Para tener en cuenta el incremento de la demanda de energía de entrada en el subsistema de generación ( $Q_{i,gen,sld}$ ) debido al subsistema de distribución hay que considerar las variables necesarias descritas en los apartados 5.2 y 6.1 de este trabajo.

Evidentemente este apartado no se considera en emisores mediante resistencia eléctrica.

Hoy los programas de certificación energética solo tienen en cuenta el consumo eléctrico (energía auxiliar) en el bombeo, en el caso de edificios terciarios, simulados con CALENER GT.

En el caso de viviendas, y como sucede actualmente en la certificación, no se considera conveniente, dado la gran cantidad de datos adicionales que habría que solicitar en caso de desconocer la pérdida de carga de los circuitos de distribución, considerar el consumo eléctrico (energía auxiliar) en bombeo<sup>147</sup>.

Esta ausencia en el cálculo produce los siguientes errores, contrastados tras la aplicación de las normas CEN en el ejercicio tipo (edificio ficticio) y en los dos edificios reales:

- La estimación del consumo eléctrico en bombeo del edificio de viviendas será cero. En los ejercicios descritos nunca ha sido superior al 1% de la energía de entrada del subsistema de distribución ( $Q_{i,dst,ent}$ ).
- En el caso del consumo térmico, no considerar la parte del consumo eléctrico recuperado ( $Q_{i,aux,rep}$ ) en el fluido, hace que se esté estimando un consumo energético final superior al real. En concreto en el caso del edificio de Bermeo, esta energía térmica recuperada del consumo eléctrico (auxiliar) es del orden del 0,2% del total de las pérdidas en el subsistema de distribución.

Aceptada esta consideración, se deberían por tanto, estimar únicamente, las pérdidas térmicas de las tuberías.

Lo habitual es que las tuberías del subsistema de distribución discurran por tres tipos de lugares, locales calefactados (zonas habitables), locales no calefactados (cuartos técnicos, guardillas, trasteros, garajes) y por el exterior del edificio. Utilizaremos en adelante el término *zonas no calefactadas*, para referirnos a los locales no calefactados y zonas exteriores del edificio, por donde discurrirán las tuberías.

<sup>147</sup> Aún así, se propone una metodología para incorporar esta estimación al proceso de certificación energética. Punto 11.4.



Para simplificar los cálculos se considerarán en esta propuesta sólo las pérdidas térmicas no recuperables ( $Q_{i,dst,prd} = Q_{i,dst,prd,no\_rcb}$ ). Esta suposición no significa separarse demasiado de la metodología de las normas CEN, salvo en el caso de la consideración de las pérdidas producidas por las tuberías de calefacción en el interior de las viviendas, como se analiza a continuación.

En el caso del servicio de ACS, como ya se ha desarrollado, todas las pérdidas energéticas de su red de distribución son no recuperables para el servicio de ACS y por tanto son consideradas en esta propuesta.

Las pérdidas térmicas procedentes de las tuberías de ACS, y a falta de mas información nacional (como sucede en España), la propia norma EN 15316-3-2, propone que no se consideren recuperables para calefacción ( $Q_{ACS,dst,prd,rcb} = 0$ ).

Es decir, todas las pérdidas térmicas de la red de ACS se consideran no recuperables, tanto para el servicio de ACS como para el de calefacción, en esta propuesta.

Las pérdidas térmicas procedentes de las tuberías de calefacción que discurren por el interior de las viviendas son mayoritariamente recuperables ( $Q_{CLF,dst,prd,rcb} = 0,8 * Q_{CLF,dst,prd}$ ) y por tanto no son consideradas tampoco en esta propuesta de cálculo ( $Q_{CLF,dst,prd,no\_rcb,Lcnx} \approx 0$ ).

Las pérdidas térmicas del resto de tuberías de calefacción que no pasan por las viviendas son mayoritariamente no recuperables. En el caso del edificio de Bermeo, las pérdidas térmicas recuperables de las tuberías situadas en los patinillos del edificio, nunca fueron superiores al 2% de la energía de entrada al subsistema de distribución  $Q_{CLF,dst,ent}$ .

Por tanto, las pérdidas térmicas no recuperables del subsistema de distribución de calefacción que se consideran en esta propuesta son las que se producen en tuberías que discurren por locales no calefactados y por el exterior del edificio (zonas no calefactadas).

Para obtener estas pérdidas no recuperables se propone utilizar la ecuación:

$$Q_{i,dst,prd,h} = \sum_{\xi} \Psi_{\xi} \cdot (T_{i,dst,med,h}(\beta_{i,dst,h}) - T_{alr,\xi}) \cdot L_{i,\xi} \cdot t \quad 11-9$$

donde

- $Q_{i,dst,prd,h}$  Pérdida térmica en cada hora (Wh)
- $\Psi_{\xi}$  Transmitancia térmica lineal de las tuberías en W/mK. Si este valor, para un mismo índice  $\xi$ , varía, se debe tomar la media ponderada en función de su longitud  $\Psi_{\xi} = \sum \Psi_{\eta} * L_{\eta} / \sum L_{\eta}$ . El índice  $\xi$  se mantiene si es igual la temperatura media de distribución y tipo de temperatura de los alrededores (interior, exterior o local no calefactado).
- $T_{i,dst,med,h}(\beta_{i,dst,h})$  Media de la temperatura del agua de la tubería del sistema de distribución °C.
- $T_{alr,\xi}$  Temperatura de los alrededores en °C, bien la del local por donde discurre la tubería o la temperatura exterior. Consultar tabla 11.14.
- $L_{i,\xi}$  Longitud de la tubería en m.
- $\xi$  Índice para tuberías con las mismas condiciones límite. Esto es: Igual temperatura media de distribución y tipo de temperatura de los alrededores (interior, exterior o local no calefactado). Por ejemplo, tuberías que discurren desde las generales a las viviendas, tuberías que discurren por el interior de las viviendas (caso ACS).
- $t$  Intervalo de cálculo considerado. Como se ha planteado un sistema aditivo a la demanda energética calculada con el procedimiento actual, este sería igual a una hora ( $t = 1$  h)

Se propone agrupar los tramos de distribución ( $L_{i,\xi}$ ) con semejante transmitancia térmica lineal, temperatura media y temperatura de los alrededores, y así las pérdidas térmicas vienen dadas por la siguiente expresión:

$$Q_{i,dst,prd,h} = \sum_{\xi} q_{i,dst,prd,\xi} \cdot L_{i,\xi} \cdot 1 \quad 11-10$$

donde  $q_{i,dst,prd,\xi}$  es la pérdida térmica por longitud de la tubería (Wh/m) con igual  $\Psi$ ,  $T_{i,dst,med}$  ( $\beta_{i,dst}$ ) y  $T_{alr}$ :

$$q_{i,dst,prd,\xi} = \psi_{\xi} \cdot (T_{i,dst,med,h}(\beta_{i,dst,h}) - T_{alr,\xi}) \quad 11-11$$

Para el caso del servicio de calefacción y atendiendo a los tipos de zonas, calefactados (zonas interiores) o zonas no calefactadas (cuartos técnicos, guardillas, trastero y zonas exteriores del edificio), descritos anteriormente, también podríamos tener la siguiente formulación:

$$q_{CLF,dst,prd,clf,\xi} = \Psi_{clf,\xi} \cdot (T_{CLF,dst,med}(\beta_{CLF,dst}) - T_{int,\xi}) = 0 \quad 11-12$$

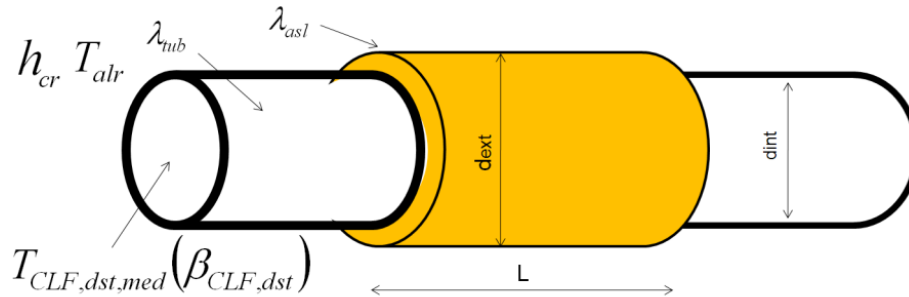
$$q_{CLF,dst,prd,no\,clf,\xi} = \Psi_{no\,clf,\xi} \cdot (T_{CLF,dst,med}(\beta_{i,dst}) - T_{alr,\xi}) \quad 11-13$$

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

$$Q_{CLF,dst,prd,h} = Q_{CLF,dst,prd,no\,rcb,h} = \sum_{\xi} q_{CLF,dst,prd,no\,clf,\xi} \cdot L_{CLF,no\,clf,\xi} \cdot 1 \quad 11-14$$

Por tanto la información adicional que se debería solicitar es:

- Longitud de las tuberías de distribución de los servicios de calefacción y ACS y lugar por donde discurren.
- Transmitancia térmica lineal (función de los diámetros interior<sup>148</sup> y exterior de la coquilla de aislamiento, de la conductividad térmica del aislamiento y tubería y de los coeficientes de convección y radiación considerados).
- Temperatura media del fluido caloportador dentro de las tuberías para cada intervalo de cálculo. En el caso de una red de recirculación de ACS tiempo de funcionamiento  $t_{ACS,ON-OFF}$  que está en disposición de servicio.



**Imagen 11.4:** Parámetros para el cálculo de la transmitancia térmica lineal para tuberías. Caso mostrado calefacción

<sup>148</sup> El diámetro interior de la coquilla de aislamiento coincide con el exterior de la tubería.

### 11.2.2.1. Longitud de las tuberías

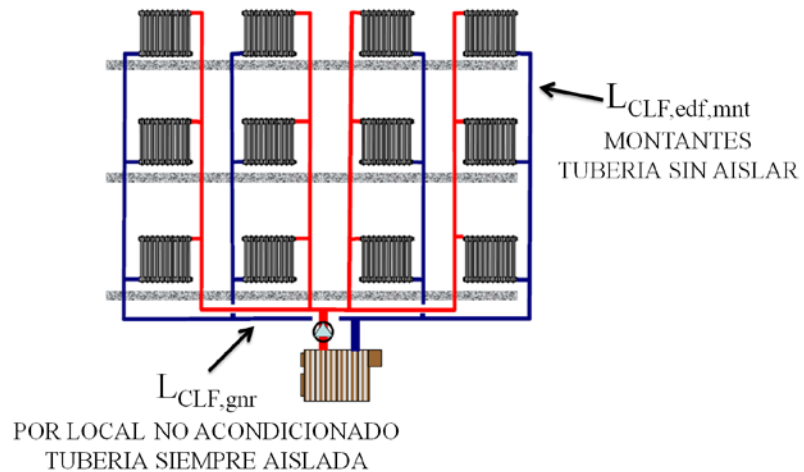
Para obtener el dato de la longitud de las tuberías ( $L_{i,\xi}$ ) se podría diferenciar entre sistemas centrales e individuales (en el que sólo discurren las tuberías por el interior de las viviendas) de los servicios de calefacción y ACS.

Según lo señalado anteriormente las pérdidas energéticas recuperables en los sistemas de calefacción individuales no se considerarán en esta propuesta (las viviendas se consideran siempre calefactadas, ecuación 11-9). Aun así, en este apartado, y aprovechando los datos manejados en los edificios reales, se proponen unas ecuaciones para estimar los valores de estas longitudes, diferentes a los propuestos por las normas CEN, para considerarlos en posibles desarrollos futuros.

Se propone clasificar los tramos de distribución de tuberías, en los tres tipos tipificados en las normas CEN, para cada uno de los servicios de calefacción y ACS:

- **Distribución horizontal** desde el generador de calor a los tubos principales de suministro (sección  $L_{ACS,gnr}$  ó  $L_{CLF,gnr}$ ). Se considerará siempre que estas tuberías discurren por zonas no calefactadas, generalmente se encontrarán aisladas y se considerará su pérdida energética. En el caso del servicio de calefacción  $L_{CLF,no\ cf,\xi} = L_{CLF, no\ cf,gnr}$ .
- **Tubos principales de suministro** (sección  $L_{ACS,edf}$  ó  $L_{CLF,edf}$ ). Se considerará siempre que estas tuberías discurren por zonas no calefactadas, generalmente se encontrarán aisladas y se considerará su pérdida energética. En el caso del servicio de calefacción  $L_{CLF,no\ cf,\xi} = L_{CLF,no\ cf,edf}$ .

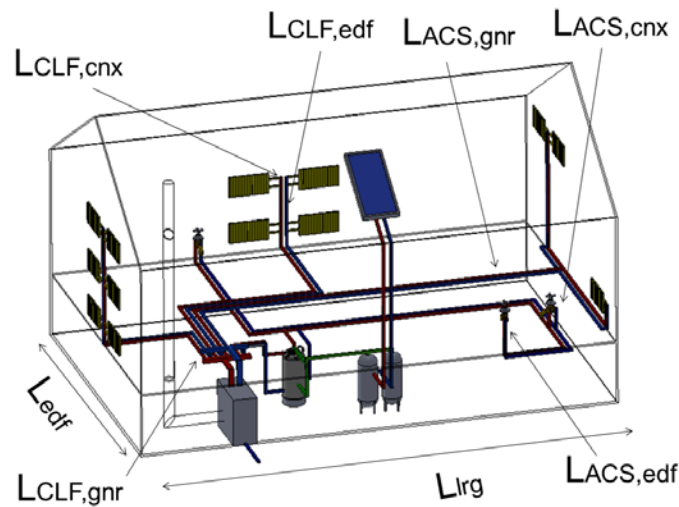
No se tendrá en cuenta la pérdida energética de este tipo de tuberías si la distribución de calefacción es por montantes ( $L_{CLF,cf,\xi} = L_{CLF,cf,edf,mnt}$ ). Esto se debe a que en este tipo de distribución las tuberías discurren en su totalidad por el interior de las viviendas y en esta propuesta no se tienen en cuenta las pérdidas térmicas de tuberías que discurren por el interior de las viviendas (mayoritariamente todas serán recuperadas).



**Imagen 11.5:** Estimación propuesta para longitud de tuberías de CLF, montantes.

- **Ramificaciones individuales** a las tomas del usuario, circuitos individuales (sección  $L_{ACS,cnx}$  ó  $L_{CLF,cnx}$ ). Este es el único tipo de tuberías que tendrían los sistemas individuales. En el caso del servicio de calefacción conviene recordar que se ha asumido no considerar las pérdidas energéticas por discurrir por locales calefactados ( $L_{CLF,cf,\xi} = L_{CLF,cf,cnx}$ ). En el caso del servicio de ACS si se consideran las pérdidas energéticas por este tipo de tuberías.

Los tubos de sección  $L_{ACS,gnr}$  y  $L_{ACS,edf}$  pueden constituir parte de un circuito cerrado, recirculación de ACS ( $L_{tub,rcr} = L_{ACS,gnr} + L_{ACS,edf}$ ).



**Imagen 11.6:** Secciones en la distribución de un sistema central

En el caso de sistemas **centrales de calefacción**, se propone, si no se conocen los valores reales de la longitud de las tuberías y siempre que los generadores se encuentren situados en el propio edificio, utilizar las expresiones de las tablas 5.29 y 5.30. Con estas expresiones se obtienen los valores para  $L_{CLF,gnr}$ , que discurren siempre por locales no calefactados, y  $L_{CLF,edf}$ , que pueden discorrir por dentro del edificio, por locales calefactados<sup>149</sup> o no calefactados, o fuera del edificio. Se reproducen a continuación dichos valores:

- Sistemas de calefacción bitubo ( $h_{pln}$ : altura de las plantas (m);  $n_{pln}$ : número de plantas)
  - Distribución por el exterior del edificio  $L_{CLF,gnr}(m) = 2L_{lrg} + 0,01625L_{lrg}L_{anch}^2$
  - Distribución por el interior del edificio  $L_{CLF,gnr}(m) = 2L_{lrg} + 0,0325L_{lrg}L_{anch} + 6$
  - $L_{CLF,edf}(m) = 0,025L_{lrg}L_{anch}h_{pln}n_{pln}$
- Sistemas de calefacción monotubo ( $h_{pln}$ : altura de las plantas (m);  $n_{pln}$ : número de plantas)
  - $L_{CLF,gnr}(m) = 2L_{lrg} + 0,0325L_{lrg}L_{anch} + 6$
  - $L_{CLF,edf}(m) = 0,025L_{lrg}L_{anch}h_{pln}n_{pln} + 2(L_{lrg} + L_{anch})h_{pln}$

En caso de que el generador se encuentre fuera del edificio, como ocurre en el bloque 2 del edificio de Bermeo, se debe sumar a  $L_{CLF,gnr}$  el doble de la distancia que hay entre la sala del generador y las distribuciones verticales de calefacción (dato que habría que conocer).

Para estimar las longitudes de las tuberías que discurren por dentro de las viviendas ( $L_{CLF,cnx}$ ) las fórmulas propuestas por las normas CEN no son aplicables en nuestro país ya que estiman valores muy diferentes (superiores o inferiores dependiendo de la sección de la planta) a los reales. Se propone utilizar las siguientes expresiones:

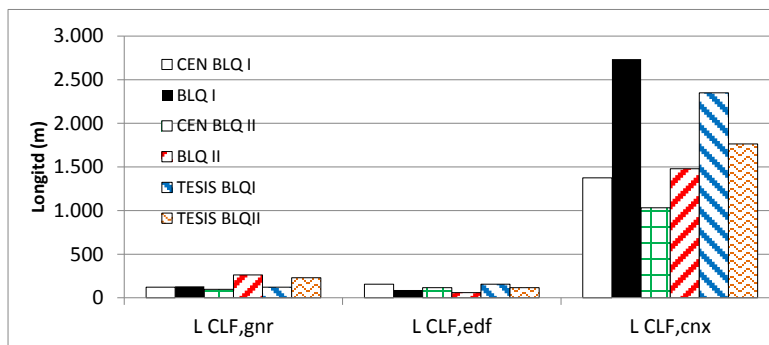
- Sistemas de calefacción bitubo  $L_{CLF,cnx}(m) = 0,94L_{lrg}L_{anch}n_{pln}$
- Sistemas de calefacción monotubo  $L_{CLF,cnx}(m) = 0,5L_{lrg}L_{anch}n_{pln}$

<sup>149</sup> Montantes

En las anteriores expresiones  $L_{lrg}$  es el largo de la sección de la planta del edificio en m,  $L_{anch}$  es el ancho de la sección de la planta del edificio en m y  $n_{pln}$  es el número de plantas del edificio.

Estas ecuaciones se han desarrollado a partir de las mismas variables independientes propuestas por las normas CEN (largo  $L_{lrg}$ , anchura  $L_{anch}$  de la sección de la planta en estudio y el número de plantas,  $n_{pln}$ ) multiplicadas por una constante que se ha obtenido logrando que el error cometido, por exceso o defecto, en cálculo de la longitud de las tuberías de los edificios reales en estudio, fuera el mínimo posible.

Por ejemplo, con esta nueva propuesta, los valores estimados de las tuberías de las conexiones ( $L_{CLF,cnx}$ ) de los dos bloques del edificio de Bermeo resultan más cercanos a la realidad según muestra el siguiente gráfico:



**Imagen 11.7:** Valores reales de las tuberías (BLQ I y BLQ II), estimados según normas (CEN BLQ I y CEN BLQ II) y nueva estimación propuesta (TESIS BLQ I y TESIS BLQ II) en el sistemas de calefacción.

En el caso de sistemas de **calefacción individual** se propone obtener las longitudes interiores de las tuberías que discurren por la vivienda  $L_{CLF,cnx}$ , según las nuevas expresiones descritas anteriormente. Recordar que en esta propuesta no se consideran las pérdidas energéticas en estos ramales.

En el caso de sistemas **centrales de ACS** se propone, si no se conocen los valores reales, utilizar las expresiones de la tabla 6.6 para obtener los valores de  $L_{ACS,gnr}$  (longitud de la tubería entre el generador y los ejes verticales) en el caso que los generadores estén situados en el propio edificio:

- CON CIRCUITO CERRADO  $L_{ACS,gnr} = 2L_{lrg} + 0,0125L_{lrg}L_{anch}$
- SIN CIRCUITO CERRADO  $L_{ACS,gnr} = L_{anch} + 0,0625L_{lrg}L_{anch}$

En caso de que el generador se encuentre fuera del edificio, como ocurre en el bloque 2 del edificio de Bermeo, se debe sumar a  $L_{ACS,gnr}$  el doble de la distancia entre la sala del generador y las distribuciones verticales de ACS (dato que habría que solicitar).

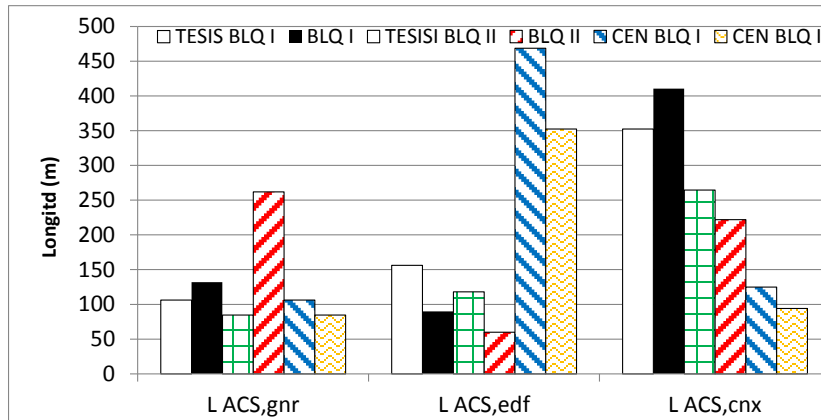
En el caso de las longitudes de las tuberías que discurren por las verticales del edificio ( $L_{ACS,edf}$ ) las fórmulas propuestas por las normas CEN no son aplicables a nuestro país ya que estiman valores muy superiores a los reales. Se propone utilizar las mismas expresiones que para la distribución del sistema de calefacción central:

- CON CIRCUITO CERRADO  $L_{ACS,edf} = 0,025L_{lrg}L_{anch}n_{pln}h_{pln}$
- SIN CIRCUITO CERRADO  $L_{ACS,edf} = 0,0125L_{lrg}L_{anch}n_{pln}h_{pln}$

En el caso de las longitudes que discurren dentro de las viviendas ( $L_{ACS,cnx}$ ) las fórmulas propuestas por las normas CEN no son aplicables a nuestro país pues estiman valores inferiores a los reales. Se propone utilizar la siguiente expresión que representa el 15% de la longitud estimada para el servicio de calefacción bitubo. Este porcentaje se ha obtenido como media de la longitud real de las tuberías de las viviendas de los dos edificios en estudio.

- DISTRIBUCIONES DE ACS EN INTERIOR VIVIENDAS  $L_{CLF,cnx} = 0,14L_{lrg}L_{anch}n_{pln}$

Con esta nueva propuesta los valores estimados de las conexiones de los dos bloques del edificio de Bermeo resultan más cercanos a la realidad.



**Imagen 11.8:** Estimación propuesta para longitud de tuberías de ACS.

En el caso del servicio de sistemas **individuales de ACS** (calentadores de ACS) se propone obtener las longitudes interiores  $L_{CLF,cnx}$  según las nuevas expresiones descritas anteriormente.

Con estas consideraciones de la red de distribución, la reformulación de la ecuación 11-11 quedaría del siguiente modo, para el caso del servicio de calefacción:

$$Q_{CLF,dst,prd,h} = \sum_{\xi} q_{CLF,dst,prd,no\ clf,\xi} \cdot L_{CLF,no\ clf,\xi} \cdot 1 \quad 11-15$$

donde

- $Q_{CLF,dst,prd,h}$  Pérdida térmica en cada hora (Wh)
- $q_{CLF,dst,prd,no\ clf,\xi}$  Pérdida térmica por longitud de la tubería que discurre por zona no calefactada (Wh/m)

$$q_{CLF,dst,prd,no\ clf,\xi} = \Psi_{CLF,no\ clf,\xi} \cdot (T_{CLF,dst,med,h}(\beta_{CLF,dst,h}) - T_{alr,\xi}) \quad 11-16$$

- $\Psi_{CLF,no\ clf,\xi}$  Transmitancia térmica lineal de las tuberías en W/mK, con lo anteriormente dicho,  $\Psi_{CLF,no\ clf,gnr}$  ó  $\Psi_{CLF,no\ clf,edf}$ . Si este valor para un mismo índice  $\xi$  varía, se debe tomar la media ponderada en función de su longitud.  $\Psi_{CLF,no\ clf,gnr} = \sum \Psi_{CLF,no\ clf,gnr,\eta} \cdot L_{\eta} / \sum L_{\eta}$  ó  $\sum \Psi_{CLF,no\ clf,edf,\eta} \cdot L_{\eta} / \sum L_{\eta}$
- $T_{CLF,dst,med}(\beta_{CLF,dst})$  Media de la temperatura del agua de la tubería del sistema de distribución °C para el caso de  $L_{CLF,no\ clf,gnr}$  ó  $L_{CLF,no\ clf,edf}$
- $T_{alr,\xi}$  Temperatura de los alrededores en °C. Bien locales no calefactados o temperatura exterior. Consultar tabla 11.14.
- $L_{i,no\ clf,\xi}$  Longitud de la tubería (m), con lo anteriormente dicho,  $L_{CLF,no\ clf,gnr}$  ó  $L_{CLF,no\ clf,edf}$
- $\xi$  Índice para tuberías con las mismas condiciones, es decir,  $^{*}_{CLF,no\ clf,gnr}$  ó  $^{*}_{CLF,no\ clf,edf}$

Con estas consideraciones de la red de distribución, la reformulación de la ecuación 11-6 quedaría del siguiente modo, para el caso del servicio de ACS:

$$Q_{ACS,dst,prd,h} = (q_{ACS,dst,prd,gnr} \cdot L_{ACS,gnr} + q_{ACS,dst,prd,edf} \cdot L_{ACS,edf}) \cdot t_{ACS,ON-OFF} + q_{ACS,dst,prd,cnx} \cdot L_{ACS,cnx} \cdot t_{ACS,ON} \quad 11-17$$

Suponiendo que los tubos de sección  $L_{ACS,gnr}$  y  $L_{ACS,edf}$  forman parte de un circuito cerrado, recirculación de ACS ( $L_{tub,rcr} = L_{ACS,gnr} + L_{ACS,edf}$ ), la ecuación 11-14 sería:

$$Q_{ACS,dst,prd,h} = q_{ACS,dst,prd,tub,rcr} \cdot L_{tub,rcr} \cdot t_{ACS,ON-OFF} + q_{ACS,dst,prd,cnx} \cdot L_{ACS,cnx} \cdot t_{ACS,ON} \quad 11-18$$

donde

- $Q_{ACS,dst,prd,h}$  Pérdida térmica en cada hora (Wh)
- $q_{ACS,dst,prd,tub,rcr}$  Pérdida térmica por longitud de la tubería del circuito de recirculación. Este valor es cero si se trata de sistemas individuales  $q_{ACS,dst,prd,tub,rcr} = 0$ . (Wh/m)

$$q_{ACS,dst,prd,tub,rcr} = \Psi_{ACS,tub,rcr} \cdot (T_{ACS,dst,med,tub,rcr,h}(\beta_{ACS,dst,tub,rcr,h}) - T_{alr,tub,rcr}) \quad 11-19$$

- $\Psi_{ACS,tub,rcr}$  Transmitancia térmica lineal de las tuberías en W/mK del circuito de recirculación, con lo anteriormente dicho,  $\Psi_{ACS,gnr}$  y  $\Psi_{ACS,edf}$ . Si estos valores varían, se debe tomar la media ponderada en función de su longitud.  $\Psi_{ACS,gnr} = \sum \Psi_{ACS,gnr,\eta} * L_{\eta} / \sum L_{\eta}$  ó  $\Psi_{ACS,edf} = \sum \Psi_{ACS,edf,\eta} * L_{\eta} / \sum L_{\eta}$  y  $\Psi_{tub,rcr} = (\Psi_{ACS,gnr} + \Psi_{ACS,edf}) / 2$ .
- $T_{ACS,dst,med,tub,rcr,h}(\beta_{ACS,dst,tub,rcr,h})$  Media de la temperatura del agua de la tubería del sistema de distribución °C para el caso de  $L_{ACS,gnr}$  ó  $L_{ACS,edf}$ .
- $T_{alr,tub,rcr}$  Temperatura de los alrededores en °C. Bien locales calefactados, no calefactados o temperatura exterior. Consultar tabla 11.14.
- $L_{ACS,tub,rcr}$  Longitud de la tubería (m), con lo anteriormente dicho,  $L_{ACS,gnr}$  y  $L_{ACS,edf}$
- $t_{ACS,ON-OFF}$  Periodo de cálculo (h). En el caso que la red de recirculación funcione las 24 horas del día,  $t_{ACS,ON-OFF} = 1$ . Si existe otro horario de funcionamiento, por ejemplo por acuerdo comunitario se decide que 8 horas en la noche no este disponible, hay que solicitar este horario, y las horas del día que no están disponibles se supondrá que  $t_{ACS,ON-OFF} = 0$  (se consideran nulas las pérdidas térmicas durante los períodos de no circulación).
- $q_{ACS,dst,prd,cnx}$  Pérdida térmica por longitud de la tubería de los circuitos interiores. Estas pérdidas son las únicas que se consideran si se trata de sistemas individuales. (Wh/m)

$$q_{ACS,dst,prd,cnx} = \Psi_{ACS,cnx} \cdot (T_{ACS,dst,med,cnx}(\beta_{ACS,dst,cnx}) - T_{int}) \quad 11-20$$

- $\Psi_{ACS,cnx}$  Transmitancia térmica lineal de las tuberías en W/mK del circuito de conexiones, con lo anteriormente dicho,  $\Psi_{ACS,cnx}$ . Si estos valores varían, se debe tomar la media ponderada en función de su longitud.  $\Psi_{ACS,cnx} = \sum \Psi_{ACS,cnx,\eta} * L_{\eta} / \sum L_{\eta}$
- $T_{ACS,dst,med,cnx}(\beta_{ACS,dst,cnx,h})$  Media de la temperatura del agua de la tubería del sistema de distribución °C para el caso de  $L_{ACS,cnx}$
- $T_{int}$  Temperatura interior °C.
- $L_{ACS,tub,rcr}$  Longitud de la tubería (m), con lo anteriormente dicho,  $L_{ACS,cnx}$
- $t_{ACS,ON}$  Periodo de cálculo (h) (tiempo que dura una extracción en cada hora). Este se obtiene a partir del la fracción de hora en la que el equipo estuvo funcionando  $fcp_{ACS,t}$  ( $fcp_{ACS,t,h} = t_{ACS,ON,h}/1$ ), valor actualmente calculado por el programa.

### 11.2.2.2. Transmitancia térmica lineal

Los tres tipos de tuberías descritos anteriormente ( $L_{i,gnr}$ ,  $L_{i,edf}$  y  $L_{i,cnx}$ ) pueden encontrarse aislados o no (edificios antiguos) en un edificio.

En el caso de que el tramo en estudio se encuentre aislado, el cálculo de la transmitancia térmica lineal  $\Psi_{i,asl}$  se podría obtener mediante la siguiente expresión en la que se ha despreciado la resistencia térmica debida a la convección interior (ecuación 5-51 descrita anteriormente):

$$\Psi_{i,asl} = \frac{\pi}{\left( \frac{1}{2 \cdot \lambda_{asl}} \cdot \ln \frac{d_{int}}{d_{ext}} + \frac{1}{h_{cr} \cdot d_{int}} \right)} \quad 11-21$$

donde

- $d_{int}$ ,  $d_{ext}$  Diámetro interior de la coquilla de asilamiento (exterior de la tubería) y exterior de la coquilla de asilamiento (m). Ver imagen 11.4.
- $h_{cr}$  Coeficiente de transferencia de calor de la superficie total exterior (convección y radiación) ( $W/m^2K$ ). Si no se conoce el dato puede tomarse  $8 W/m^2K$  para tuberías aisladas y  $14 W/m^2K$  para no aisladas. En el anexo IV *Exigencias legislativas en asilamiento en tuberías* hay una descripción de cómo se obtendría este valor de forma más exhaustiva.
- $\lambda_{asl}$  Conductividad térmica del aislamiento ( $W/mK$ ). Consultar el Catálogo de Elementos Constructivos del Código Técnico de la Edificación [5.33]. Si no se conoce el tipo de aislamiento se podría tomar un valor de  $0,04 W/m^2K$ .

Con esta fórmula se obtendrán los valores de  $\Psi_{CLF,no\ clf,gnr}$ ,  $\Psi_{CLF,no\ clf,edf}$ ,  $\Psi_{ACS,gnr}$  y  $\Psi_{ACS,edf}$ .

Para tuberías no aisladas (empotradas o no) la transmitancia térmica  $\Psi_{CLF,no\ asl}$  se puede obtener a partir de la ecuación (ecuación 5-53 antes descrita):

$$\Psi_{i,no\ asl} \approx h_{cr} \cdot \pi \cdot d_{int} = 44 \cdot d_{int} \quad 11-22$$

Con esta fórmula se obtendrán los valores de  $\Psi_{CLF,clf,cnx}$ ,  $\Psi_{CLF,clf,edf,mnt}$  y  $\Psi_{ACS,cnx}$ .

Si no se conocen todos los datos para poder utilizar las fórmulas 11-21 y 11-22, se propone adoptar las siguientes hipótesis:

- Los tramos de las ramificaciones individuales a las tomas del usuario, circuitos individuales (sección  $L_{ACS,cnx}$  ó  $L_{CLF,cnx}$ ), discurren por locales calefactados y como no es obligatorio su aislamiento, se considerarán sin aislar.
- En el caso de tubos principales de suministro del servicio de calefacción ( $L_{CLF,edf,mnt}$ ) por montantes, se considerará que la tubería se encuentra sin aislar, pues como se comentó anteriormente, discurre por el interior de las viviendas.

En el resto de casos (sección  $L_{ACS,edf}$  ó  $L_{CLF,edf}$ ) las tuberías discurren por locales no calefactados o por el exterior del edificio (zonas no calefactadas) y por tanto se supondrá que tienen un nivel mínimo de aislamiento legislado en función del año, el diámetro de la tubería y situación.

- Los tramos de distribución horizontal desde el generador de calor a los tubos principales de suministro (sección  $L_{ACS,gnr}$  ó  $L_{CLF,gnr}$ ) que se consideró discurren por locales no calefactados se supone que tienen un nivel mínimo de aislamiento, legislado en función del año de ejecución y diámetro exterior de la tubería.



Para el caso de tuberías que no se consideran aisladas para el servicio de calefacción, es decir  $L_{CLF,cnx}$  y  $L_{CLF,edf}$  en el caso de distribución de montantes, se propone utilizar la expresión 11-23 para obtener su transmitancia térmica lineal. Recordar que en esta propuesta no se consideran las pérdidas térmicas por estas tuberías pero se propone esta formulación para desarrollos futuros.

$$\Psi_{CLF,no\ asl} = \Psi_{CLF,clf,cnx} = 44 \cdot \sqrt{\frac{4 \cdot \phi_{CLF,ems}}{\pi \cdot C_{e_{ag}} \cdot \rho_{ag} \cdot \Delta T_{CLF,dst,dstñ} \cdot v_{CLF,dstñ}}} = 768 \cdot \sqrt{\frac{\phi_{CLF,ems}}{\Delta T_{CLF,dst,dstñ} \cdot v_{CLF,dstñ}}} \quad 11-23$$

donde

- $\Psi_{CLF,no\ asl}$  Transmitancia térmica lineal (W/mK) para  $L_{CLF,cnx}$  ( $\Psi_{CLF,clf,cnx}$ ) y  $L_{CLF,edf}$  ( $\Psi_{CLF,clf,edf,mnt}$ )
- $C_{e_{ag}}$  Capacidad calorífica específica del agua (4,18 kJ/kgK).
- $\rho_{ag}$  Densidad del agua (1000 kg/m<sup>3</sup>).
- $\Delta T_{CLF,dst,dstñ}$  Diferencia de temperatura entre impulsión y retorno de diseño (K). Dato ya descrito en el apartado de emisión.
- $\Phi_{CLF,ems}$  Potencia térmica de los emisores (kW).
- $v_{CLF,dstñ}$  Velocidad de diseño (m/s). Se toma un valor de 1,5 m/s para instalaciones hasta el año 2006 y 1 m/s para el resto (de aplicación el Documento básico de Protección frente al Ruido HR del Código Técnico de la Edificación que legisla este valor).

Para el caso de tuberías que no se consideran aisladas para el servicio de ACS ( $L_{ACS,cnx}$ ), se propone utilizar la ecuación 11-24. En ella se ha obtenido el máximo caudal diario de ACS como un 10 % del total diario que se solicita actualmente en los programas de certificación y que está tipificado en el CTE DB HE-4 2006. Este máximo se produce a las 8 horas AM (ver imagen 14.41):

$$\Psi_{ACS,no\ asl} = \Psi_{ACS,cnx} = 44 \cdot \sqrt{\frac{4 \cdot V_{ACS,rfr} \cdot A \cdot 0,1}{\pi \cdot 3,6 \cdot 10^6 \cdot v_{CLF,dstñ}}} = 8 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt{\frac{V_{ACS,rfr} \cdot A}{v_{CLF,dstñ}}} \quad 11-24$$

donde

- $d_{int}$  Diámetro interior de la coquilla de aislamiento (m) (exterior de la tubería).
- $V_{ACS}(T_{rfr})$  Consumo de agua caliente sanitaria a una temperatura de referencia (litros/m<sup>2</sup>día) obtenidos a partir del CTE-HE4 y de la superficie útil del edificio.
- $A$  Superficie útil del edificio (m<sup>2</sup>)
- $v_{CLF,dstñ}$  Velocidad de diseño (m/s). Se toma un valor de 1,5 m/s para instalaciones hasta el año 2006 y 1 m/s para el resto (de aplicación el Documento básico de Protección frente al Ruido HR del Código Técnico de la Edificación que legisla este valor).

Para el caso de tuberías con obligación de aislamiento ( $L_{ACS,gnr}$ ,  $L_{CLF,gnr}$ ,  $L_{ACS,edf}$ ,  $L_{CLF,edf}$ ) los valores de transmitancia térmica se pueden obtener a través de las tablas desarrolladas en el anexo IV *Exigencias legislativas en aislamiento en tuberías*.

En dicho anexo, además de mostrar los valores mínimos de espesor de aislamiento legislados de las tuberías desde el año 1975, se han obtenido las transmitancias térmicas equivalentes en función del diámetro de la tubería. A continuación se reproducen dichas tablas:

**Tabla 11.7:** Transmitancia térmica en tuberías  $\Psi_{i,asl}$  ( $\Psi_{CLF,no\ clf,gnr}$  ó  $\Psi_{CLF,no\ clf,edf}$  ó  $\Psi_{ACS,gnr}$  ó  $\Psi_{ACS,edf}$ ) (W/mK) año 1975 a 1998

Diámetro Exterior (mm)			Temperatura máxima agua							
			40 a 65 °C				66 a 100 °C			
Tubería sin aislar			Interior*		Exterior		Interior*		Exterior	
			min	max	min	max	min	max	min	max
	$d_{int} \leq$	<b>32</b>		0,31		0,24		0,31		0,24
<b>32</b>	$< d_{int} \leq$	<b>50</b>	0,31	0,43	0,24	0,32	0,24	0,32	0,20	0,26
<b>50</b>	$< d_{int} \leq$	<b>80</b>	0,32	0,45	0,26	0,36	0,32	0,45	0,32	0,45
<b>80</b>	$< d_{int} \leq$	<b>125</b>	0,45	0,64	0,36	0,51	0,36	0,51	0,36	0,51
<b>125</b>	$< d_{int}$		0,64		0,51		0,51		0,51	

\*Se refiera a locales no calefactados

**Tabla 11.8:** Transmitancia térmica en tuberías  $\Psi_{i,asl}$  ( $\Psi_{CLF,no\ clf,gnr}$  ó  $\Psi_{CLF,no\ clf,edf}$  ó  $\Psi_{ACS,gnr}$  ó  $\Psi_{ACS,edf}$ ) (W/mK) año 1998 a 2007

Diámetro Exterior			Temperatura máxima agua							
			40 a 65 °C				66 a 100 °C			
Tubería sin aislar (mm)			Interior*		Exterior		Interior*		Exterior	
			min	max	min	max	min	max	min	max
	$d_{int} \leq$	<b>35</b>		0,33		0,25		0,33		0,25
<b>35</b>	$< d_{int} \leq$	<b>60</b>	0,33	0,49	0,25	0,36	0,25	0,36	0,21	0,30
<b>60</b>	$< d_{int} \leq$	<b>90</b>	0,36	0,49	0,30	0,40	0,36	0,49	0,36	0,49
<b>90</b>	$< d_{int} \leq$	<b>140</b>	0,49	0,70	0,40	0,56	0,40	0,56	0,40	0,56
<b>140</b>	$< d_{int}$		0,70		0,56		0,56		0,56	

\*Se refiera a locales no calefactados

**Tabla 11.9:** Transmitancia térmica en tuberías  $\Psi_{CLF,asl}$  ( $\Psi_{CLF,no\ clf,gnr}$  ó  $\Psi_{CLF,no\ clf,edf}$ ) (W/mK) desde 2007

Diámetro Exterior			Temperatura máxima agua							
			40 a 60 °C				60 a 100 °C			
Tubería sin aislar (mm)			Interior		Exterior		Interior		Exterior	
			min	max	min	max	min	max	min	max
	$d_{int} \leq$	<b>35</b>		0,28		0,23		0,28		0,23
<b>35</b>	$< d_{int} \leq$	<b>60</b>	0,25	0,36	0,21	0,30	0,25	0,36	0,21	0,30
<b>60</b>	$< d_{int} \leq$	<b>90</b>	0,36	0,49	0,30	0,40	0,36	0,49	0,36	0,49
<b>90</b>	$< d_{int} \leq$	<b>140</b>	0,49	0,70	0,40	0,56	0,40	0,56	0,40	0,56
<b>140</b>	$< d_{int}$		0,62		0,51		0,56		0,56	

\*Se refiera a locales no calefactados

**Tabla 11.10:** Transmitancia térmica en tuberías  $\Psi_{ACS,asl}$  ( $\Psi_{ACS,gnr}$  ó  $\Psi_{ACS,edf}$ ) (W/mK) desde 2007

Diámetro Exterior			Temperatura máxima agua							
			40 a 60 °C				60 a 100 °C			
Tubería sin aislar (mm)			Interior*		Exterior		Interior*		Exterior	
			min	max	min	max	min	max	min	max
	$d_{int} \leq$	<b>35</b>		0,25		0,21		0,25		0,21
<b>35</b>	$< d_{int} \leq$	<b>60</b>	0,23	0,33	0,20	0,27	0,23	0,33	0,20	0,27
<b>60</b>	$< d_{int} \leq$	<b>90</b>	0,33	0,44	0,27	0,36	0,33	0,44	0,33	0,44
<b>90</b>	$< d_{int} \leq$	<b>140</b>	0,44	0,62	0,36	0,51	0,36	0,51	0,36	0,51
<b>140</b>	$< d_{int}$		0,62		0,47		0,51		0,51	

\*Se refiera a locales no calefactados

Como se puede apreciar, para obtener los valores de transmitancia térmica lineal en las anteriores tablas,  $\psi$  (W/mK), es necesario conocer las cuatro variables siguientes:

- Año de la instalación. Dato actualmente solicitado en el proceso de certificación.
- Diámetro exterior de la tubería desnuda (sin aislamiento,  $d_{int}$  ver imagen 11.4). Este valor en una instalación varía en todo el entramado de la red de tuberías en función de la energía térmica transportada a cada destino y por tanto también variará  $\Psi_{i,no\ clf,\xi}$ . Si este valor para un mismo índice  $\xi$  varía, se debe tomar la media ponderada en función de su longitud.  $\Psi_{i,\mu} = \sum \Psi_{i,\mu,\eta} * L_{\eta} / \sum L_{\eta}$ . El índice  $\xi$  se mantiene si es igual la temperatura media de distribución y tipo de temperatura de los alrededores (interior, exterior o local no calefactado).
- Temperatura de impulsión del circuito de distribución (dato actualmente solicitado).
- Lugar por donde discurren las tuberías (exterior o interior al edificio).

En el caso de no conocer el diámetro de la tubería o lugar por donde discurre, se propone que se utilice el valor más conservador de las tablas 11.7, 11.8, 11.9 y 11.10 (tubería menos aislada), es decir, el que corresponda con un valor mayor de transmitancia térmica lineal.

Adaptando esta hipótesis, y para establecer una tabla informativa de transmitancia térmica lineal para tipos de tuberías en función del año, como así proponen las normas CEN a los estados miembros, se desarrolla la tabla 11.11.

Para obtener esta tabla, y como los valores de referencia del diámetro de las tuberías durante los diferentes años en los que se ha publicado la legislación aplicable, no son iguales, se han obtenido los valores de la tabla 11.11 para una tubería de diámetro exterior ( $d_{int}$ ) de 100 mm.

En el caso de que no se conozca por donde discurre la tubería se supondrá siempre que está por el exterior. Aunque el valor de transmitancia térmica es más bajo que si se supusiera por el interior, las pérdidas energéticas recuperables son menores.

**Tabla 11.11:** Valores por defecto de  $\Psi$  para edificios nuevos y existentes. Elaboración propia

$\Psi$ (W/mK)	Temperatura máxima agua					
	40 a 65 °C			66 a 100 °C		
Año	$\Psi_{CLF,no\ clf,gnr}$	$\Psi_{CLF,no\ clf,edf}$		$\Psi_{CLF,no\ clf,gnr}$	$\Psi_{CLF,no\ clf,edf}$	
	ó $\Psi_{ACS,gnr}$	ó $\Psi_{ACS,edf}$		ó $\Psi_{ACS,gnr}$	ó $\Psi_{ACS,edf}$	
	Int	Int	Ext	Int	Int	Ext
Antes de 1975 (sin asilar)*	2					
1975 a 1998	0,56		0,45	0,45		
1998 a 2007	0,54		0,44	0,44		
Desde 2007	i: CLF					
	i: ACS		0,49		0,40	

\*Valor obtenido para una tubería media de 50 mm utilizando la ecuación 5-11. Para  $\Psi_{ACS,ext}$  utilizar ecuación 11-19

### 11.2.2.3. Temperatura media de trabajo

Evidentemente la temperatura media de trabajo de las tuberías de calefacción y ACS son distintos, por ser diferentes sus usos.

En el caso del servicio de calefacción para estimar la temperatura media de trabajo hay que aplicar el procedimiento descrito en el apartado 5.2.3.

En definitiva se debe conocer la temperatura media de trabajo del subsistema de distribución, dependiendo de la carga parcial media y temperatura de trabajo del emisor.

En el caso de sistemas centrales de calefacción ésta se puede obtener conociendo el modo de regulación de los circuitos secundarios. Lo habitual es que la regulación del sistema de distribución se realice mediante válvula de tres vías regulada en función de la temperatura exterior (ecuación 5-63).

Se supondrá además que la temperatura media de distribución de las tuberías  $L_{CLF,gnr}$  y  $L_{CLF,edf}$  son iguales, la que fije  $L_{CLF,edf}$  por ser de mayor longitud. Por tanto, en el caso de sistemas de calefacción central, con regulación de secundarios con válvula de tres vías, la temperatura media de trabajo de estos dos tipos de tuberías se obtiene mediante:

$$T_{CLF,dst,med,h}(\beta_{CLF,dst,h}) = T_{ems,med,h}(\beta_{CLF,dst,h}) = \Delta T_{CLF,ems,dst,h} \cdot \beta_{CLF,dst,h}^{1/n} + T_{int} \quad 11-25$$

donde

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

$$\Delta T_{CLF,ems,dst,h} = \frac{T_{ems,imp,dst,h} + T_{ems,rtr,dst,h}}{2} - T_{int} \quad 11-26$$

- $\beta_{CLF,dst,h}$  Carga parcial media de distribución (-). Viene dada por:

$$\beta_{CLF,dst,h} = \frac{Q_{CLF,dst,sld,h}}{\phi_{CLF,ems} \cdot t_{CLF,ON-OFF}} = \frac{Q_{CLF,dst,sld,h}}{\phi_{CLF,ems} \cdot 1} \quad 11-27$$

- $Q_{CLF,dst,sld,h}$  Energía térmica producida del sistema de distribución en cada hora (kWh).  $Q_{CLF,dst,sld,h} = Q_{CLF,ems,ent,h}$  (valor conocido).
- $\Phi_{CLF,ems}$  Potencia nominal de los emisores instalados por zona o carga de calor de diseño (kW).
- $t_{CLF,ON-OFF}$  Horas de calefacción en la zona por intervalo de cálculo (h). Como se está realizando la formulación horaria  $t_{CLF,ON-OFF} = 1$ .
- $n$  Exponente del sistema de emisión (1,33 radiadores y 1,1 suelo radiante)
- $T_{CLF,imp,dst,h}$  Temperatura de impulsión de diseño en °C
- $T_{CLF,rtr,dst,h}$  Temperatura de retorno de diseño en °C Si no se tiene este dato se podrá suponer  $T_{CLF,rtr,dst,h} = T_{CLF,imp,dst,h} - 20$ .
- $T_{int}$  Temperatura del recinto en °C. Suponer 20 °C.

Si no se conoce si tiene esta regulación entonces se supone que la temperatura de impulsión es constante y se opera con la ecuación siguiente:

$$T_{CLF,dst,med,h}(\beta_{CLF,dst,h}) = T_{ems,med,h}(\beta_{CLF,dst,h}) = T_{ems,med,dst,h} = \frac{T_{ems,imp,dst,h} + T_{ems,imp,rtr,h}}{2} = cte \quad 11-28$$

donde

- $T_{CLF,imp,dst,h}$  Temperatura de impulsión de diseño en °C (dato actualmente solicitado en la certificación)
- $T_{CLF,rtr,dst,h}$  Temperatura de retorno de diseño en °C. Si no se dispone de este dato se podrá suponer  $T_{CLF,rtr,dst,h} = T_{CLF,imp,dst,h} - 20$ .

Para el caso del sistema de calefacción individual habría que solicitar el modo de regulación del generador<sup>150</sup>, es decir, si regula su temperatura de impulsión<sup>151</sup> o no. En caso afirmativo, habría que utilizar ecuación 11-25 y sino la ecuación 11-28. Si no se conoce este valor entonces se propone que las calderas operen a temperatura de impulsión constante (ecuación 11-28).

<sup>150</sup> El tipo de generador ya se solicita actualmente

<sup>151</sup> Técnica muy beneficiosa para el caso de las de condensación

Para el servicio de ACS se opera con un valor medio de 60 °C ( $T_{ACS,dst,med,tub,rcr,h}(\beta_{ACS,dst,tub,rcr,h}) = cte = 60^{\circ}C$ ) para toda la red de recirculación ( $L_{ACS,gnr}$  y  $L_{ACS,edf}$ ) salvo la red de ACS en el interior de las viviendas para la que se toma un valor medio de 32°C ( $T_{ACS,dst,med,cnx}(\beta_{ACS,dst,cnx,h}) = cte = 32^{\circ}C$ ).

### 11.2.3. Subsistemas de generación

Parece adecuado que se determine el consumo energético del generador en función de las curvas correctoras horarias, en el caso de las calderas, función del estado de carga horario y las temperaturas de impulsión del agua (anexo III<sup>152</sup>).

Con la propuesta antes reflejada esto se puede seguir haciendo así, solo que el estado de carga de la caldera ahora cambiaría con respecto al valor que actualmente están calculando los programas CALENER. De esta forma el consumo energético del generador sería función de la demanda del subsistema de distribución  $Q_{i,dst,ent}$  (y no del edificio como sucede actualmente  $Q_i$ ) y la potencia máxima que la caldera es capaz de entregar en esa hora.

Aun siendo esto más exacto, pues considera todos los aspectos indicados en las normas CEN para los subsistemas de distribución y emisión, y por tanto su estimación se acercará más al consumo real del edificio, quedaría por considerar el consumo extra que tendría el generador debido a las pérdidas en las horas que éste esté parado y en disposición de servicio.

Estas pérdidas son las que se producen a través de la envolvente, porque cuando la caldera está parada se está enfriando y ese calor se debe luego recuperar cuando arranque [11.2] y las que se producen al arrancar, después de una parada, en las que se realiza un prebarrido<sup>153</sup> del circuito de combustión como medida de seguridad.

Para estimar esto en cada intervalo de cálculo hay que conocer si la caldera está encendida o parada, pero en disposición de dar calor.

Se considerará que la caldera estará encendida cuando la demanda horaria en ese instante ( $Q_i$ ) es superior a la potencia mínima de la misma  $\Phi_{i,Pmin}$  (dato por tanto que es necesario conocer).

Para estimar esta pérdida (energía que tiene que aportar el combustible) se propone utilizar la fórmula 5-98 multiplicado por las horas en las que la caldera esté parada ( $t_{i,OFF} = t_{i,ON-OFF} - t_{i,ON}$ ), esto es:

$$\left| \begin{array}{l} \text{Si } Q_{i,h-1} < \phi_{i:Pmin} \Rightarrow Q_{i,gen,prd,P0,h-1} = \phi_{gnr,prd,Po,corr} \cdot t_{i,OFF} = \left( \frac{T_{CLF,gnr,med} - T_{sdc}}{\Delta T_{gnr,Po,ens}} \right)^{1,25} \cdot \phi_{gnr,prd,Po} \cdot 1 = cte \quad 11-29 \\ \text{Si } Q_{i,h-1} > \phi_{i:Pmin} \Rightarrow Q_{i,gen,prd,P0,h-1} = 0 \end{array} \right.$$

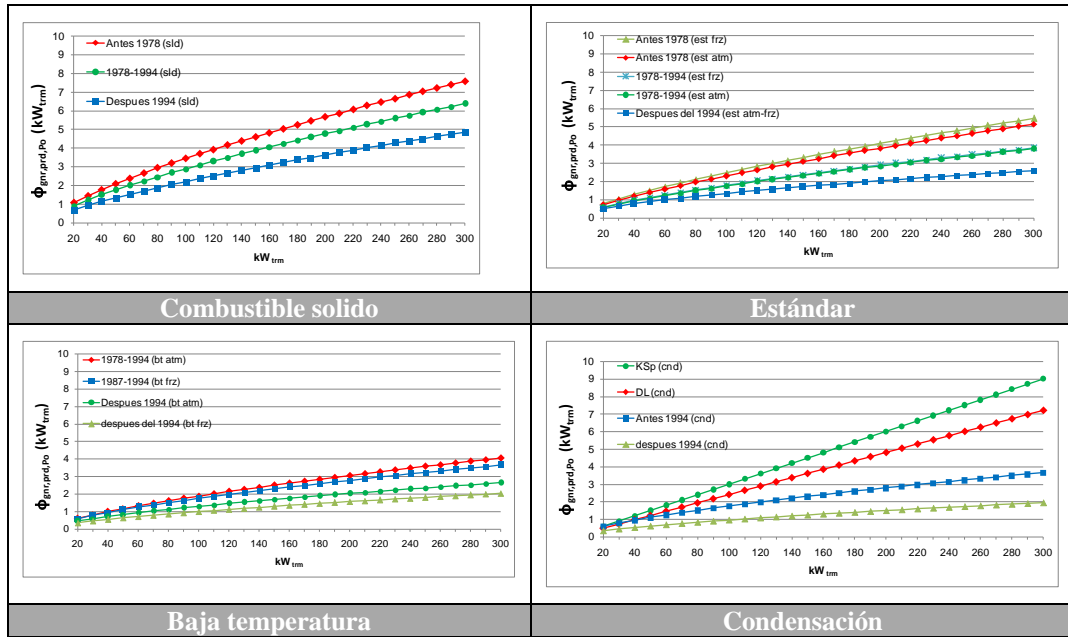
donde

- $\Phi_{gnr,prd,P0}$  Pérdida térmica en espera a carga 0% a la diferencia de temperatura de ensayo  $\Delta T_{gnr,P0,ens}$  con las normas de ensayo correspondientes (normas UNE EN 297 [5.16], UNE EN 483/A2 [5.24], UNE EN 303 [5.17], UNE EN 13836 [5.25] y UNE EN 15043 [5.26]). Si no se dispone de este valor se puede obtener en función de la potencia nominal según las siguientes gráficas

<sup>152</sup> También había que considerar la inercia de las calderas, pero para simplificar, se supone se tiene en cuenta en las curvas.

<sup>153</sup> Periodo de funcionamiento del ventilador antes de encender la llama. Elimina gases residuales y enfría la cámara de combustión. Este no existe en calderas atmosféricas.

**Tabla 11.12:** Valores por defecto para  $\Phi_{\text{gnr,prd,Po}}$  (representación gráfica según ecuación 5-99)



- $T_{\text{CLF,gnr,med}}$  Temperatura media del agua del generador cuando esta parada. Se pueden tomar de la siguiente tabla:

**Tabla 11.13:** Valores por defecto para  $T_{\text{CLF,gnr,med}}$

Tipo de caldera	$T_{\text{CLF,gnr,med}}$ °C
Combustible sólido	50
Calderas estándar	
Calderas de baja temperatura	35
Calderas de condensación	20

- $T_{\text{sdC}}$  Temperatura interior de la sala de caldera. Se dan valores por defecto a continuación °C.

**Tabla 11.14:** Temperatura de la sala de instalación por defecto

Localización del generador	$T_{\text{sdC}}$ y $T_{\text{alr}}$ °C
Exterior	$T_{\text{ext}}^*$
En la sala de caldera	13
Zonas no habitables ( salvo sala de calderas)	5
Dentro del local calentado	20

\*Valor que se debe tomar del utilizado para la estimación de la demanda

- $\Delta T_{\text{gnr,ens,Po}}$  Diferencia entre la temperatura media del agua del generador y la temperatura de la sala de ensayo a las condiciones de ensayo. Se toman 50°C.

Por lo descrito las variables nuevas a considerar serían:

- La ubicación del subsistema de generación (y en consecuencia la temperatura exterior del espacio donde se encuentra el generador), tabla 11.14.
- Potencia mínima del generador.

### 11.3. Valores de referencia

La clase de eficiencia energética<sup>154</sup> de las viviendas en España se obtiene en comparación con unos valores fijos establecidos por el Ministerio de Industria, Energía y Turismo, en función de si el edificio de viviendas es de tipo bloque o unifamiliar y si ha sido construido con anterioridad (obra existente, valores de stock [11.6]) o posterioridad (obra nueva, valores de referencia [11.5]) al 2006.

Para obtener estos valores fijos se han tomado, como muestra representativa del parque edificatorio español, 11 edificios de tipo unifamiliar y 12 edificios tipo bloque, con construcciones de su envolvente térmica cumpliendo los mínimos establecidos por la legislación vigente, es decir, NBE CT-79 [11.6] para obra existente y CTE DB HE 2006 [11.5] para obra nueva.

Con ellos, se han realizado simulaciones con el programa LIDER, en todas las zonas climáticas españolas, variando su orientación, renovaciones de aire, elementos de sombreado,...y se han obtenido estos valores absolutos (kWh/m<sup>2</sup>) reproducidos en el anexo II punto 14.8 *Valores de referencia*.

Como es lógico, en estas simulaciones, no se han tenido en cuenta las pérdidas energéticas en los subsistemas de emisión, distribución y generación. Por tanto, para no distorsionar los valores de referencia con los que se fija la certificación energética en España, se deben considerar estas pérdidas en los valores medios de referencia [11.5] (ver tabla 14.6) y de stock [11.6] (ver tabla 14.7) de los edificios, tanto nuevos como existentes.

A falta de estudios más profundos por parte de la administración para volver a calcular estos nuevos valores considerando las pérdidas energéticas en los subsistemas de emisión, distribución y generación, se propone un incremento en la demanda de calefacción del 20% respecto de los valores de demanda energética de calefacción.

Para el caso del servicio de ACS, se propone diferenciar los valores de referencia en función de la tipología del sistema, con o sin recirculación:

- Un incremento del 10% para el caso del servicio de ACS sin recirculación
- Un incremento del 50% si hay recirculación en el servicio de ACS.

Estos valores incrementales se toman como primera aproximación conservadora, y se han obtenido en función de los valores medios que se determinaron en los tres tipos de edificios analizados en este estudio doctoral.

### 11.4. Consideración del consumo eléctrico de las bombas

Se distingue en este apartado la consideración del consumo de energía eléctrica de las bombas (energía auxiliar), para el caso del servicio de calefacción y de ACS.

#### 11.4.1. Servicio de calefacción

Como indican las normas CEN se deben realizar los cálculos anuales y luego se corrigen para obtener los valores en periodos mensuales, mensuales u horarios.

El consumo de energía auxiliar anual para las bombas se calcula mediante la ecuación 11-30 (ecuación 5-21 ya descrita):

$$W_{CLF,dst,aux,anl} = W_{CLF,dst,hdr,anl} \cdot e_{CLF,dst} \quad 11-30$$

<sup>154</sup> A, B, C, D, E, F, G. Un edificio nuevo no puede ser pero calificación energética que E.

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 (-)

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

La demanda de energía hidráulica de las bombas ( $W_{CLF,dst,hdr,anl}$ ), se determina a partir de la potencia hidráulica en el punto de diseño ( $P_{CLF,hdr,dst}$ ), la carga parcial media de la distribución ( $\beta_{CLF,dst,anl}$ ), las horas de calefacción en el intervalo de cálculo ( $t_{CLF,ON-OFF,anl}$ ) y una serie de factores de corrección según muestra la ecuación 11-31:

$$W_{CLF,dst,hdr,anl} = \frac{P_{CLF,hdr,dst}}{1.000} \cdot \beta_{CLF,dst,anl} \cdot t_{CLF,ON-OFF,anl} \cdot f_{CLF,Timp} \cdot f_{CLF,red,hdr} \cdot f_{CLF,A,emsr} \cdot f_{CLF,eq,hdr} \cdot f_{CLF,gnr,bmb,int} \quad 11-31$$

donde

- $P_{CLF,hdr,dst}$  Potencia hidráulica en el punto de diseño (W). Producto del caudal ( $V_{CLF,dst}$ ) y pérdida de presión ( $\Delta p_{CLF,dst}$ ) en el punto de diseño.
- $f_{CLF,Timp}$  Factor de corrección para la temperatura del caudal de impulsión. Valor mas desfavorable  $f_{CLF,Timp} = 1$ .
- $f_{CLF,red,hdr}$  Factor de corrección para redes hidráulicas. Valor mas desfavorable  $f_{CLF,red,hdr} = 1$ .
- $f_{CLF,A,emsr}$  Factor de corrección del dimensionamiento de la superficie de calefacción. Valor mas desfavorable  $f_{CLF,A,emsr} = 1$ .
- $f_{CLF,eq,hdr}$  Factor de corrección para el balance hidráulico. Valor mas desfavorable  $f_{CLF,eq,hdr} = 1$ .
- $f_{CLF,gnr,bmb,int}$  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 subsistema de distribución.

Como se analizó en el punto 5.2.1 *Energía auxiliar* estos factores ( $f_{CLF,Timp}$ ,  $f_{CLF,red,hdr}$ ,  $f_{CLF,A,emsr}$  y  $f_{CLF,bln,hdr}$ ) tienen poco peso frente a  $f_{CLF,gnr,bmb,int}$ , por tanto, se supone, tomar el valor más desfavorable de los propuestos por las normas CEN para estos factores.

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.

Con estas consideraciones la ecuación 11-31 queda como sigue ( $f_{CLF,Timp} = f_{CLF,red,hdr} = f_{CLF,A,emsr} = 1$  y  $f_{CLF,bln,hdr} = 1,15$ )

$$W_{CLF,dst,hdr,anl} = \frac{V_{CLF,dst} \cdot \Delta p_{CLF,dst}}{3.600} \cdot \beta_{CLF,dst,anl} \cdot t_{CLF,ON-OFF,anl} \cdot 1,15 \cdot f_{CLF,gnr,bmb,int} \quad 11-32$$

donde

- $V_{CLF,dst}$  Caudal en el punto de diseño ( $m^3/h$ ). 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 ( $T_{CLF,dst,imp,dst}$ ) y retorno ( $T_{CLF,dst,rtr,dst}$ ) del sistema de distribución, variables todas ya descritas anteriormente en este capítulo.



$$V_{CLF,dsñ} = \frac{3.600 \cdot \phi_{CLF,ems}}{C_{e_{ag}} \cdot \rho_{ag} \cdot (T_{CLF,dst,imp,dsñ} - T_{CLF,dst,rtr,dsñ})} \quad 11-33$$

- $\Delta p_{CLF,dsñ}$  Presión diferencial en el punto de diseño (kPa). Se determina por la resistencia hidráulica en las tuberías (incluyendo los componentes) y las resistencias adicionales:

$$\Delta p_{CLF,dsñ} \approx 0,13 \cdot L_{dst,max} + \Delta p_{CLF,p\ln} + \Delta p_{CLF,gnr} + 2 \quad 11-34$$

donde

- $\Delta p_{CLF,p\ln}$  Pérdida de presión para los sistemas de calefacción. Se aplican un valor por defecto de  $\Delta p_{CLF,p\ln} = 25$  kPa
- $\Delta p_{CLF,gnr}$  Pérdida de presión de los generadores de calor. Si los datos no están disponibles se obtiene de la siguiente tabla en función de su inercia:

**Tabla 11.15:** Pérdida de presión de los generadores de calor

Tipo de generador de calor		$\Delta p_{CLF,gnr}$ (kPa)	$\Delta p_{CLF,gnr}$ (mca)	$\Delta p_{CLF,gnr}$ (mbar)
Generador con contenido de agua > 0,3 l/kW		1	0,10	10
Generador con contenido de agua ≤ 0,3 l/kW	$\Phi_{gnr,max} < 35$ kW	$20 \cdot (V_{gnr,dsñ})^2$	4,63*	454*
	$\Phi_{gnr,max} \geq 35$ kW	80	8,16	800
$\Phi_{gnr,max}$ es la carga de calor máxima (potencia); $V_{gnr,dsñ}$ es el caudal de diseño del generador (m <sup>3</sup> /h) *Valor obtenido para $V_{gnr,dsñ} = 1,5$ m <sup>3</sup> /h (salto de 20 K y potencia 35 kW)				

- $L_{CLF,dst,max}$  Longitud máxima del circuito de calefacción en una zona. Puede calcularse a partir de las dimensiones exteriores de la zona:

$$L_{CLF,dst,max} = 2 \cdot \left( L_{lrg} + \frac{L_{anch}}{2} + n_{p\ln} \cdot h_{p\ln} + L_{CLF,otr} \right) \quad 11-35$$

donde

- $L_{lrg}$  Largo de la zona (lado largo de la sección de la planta del edificio) (m)
  - $L_{anch}$  Anchura de la zona (lado corto de la sección de la planta del edificio) (m)
  - $n_{p\ln}$  Número de plantas (calefactadas) por zona (parte del edificio) (-)
  - $h_{p\ln}$  Altura media de las plantas en la zona (parte del edificio) (m)
  - $L_{CLF,otr}$  10 m para sistemas de calefacción bitubulares;  $L_{lrg} + L_{anch}$  para sistemas de calefacción monotubo.
- $\beta_{CLF,dst,anl}$  Cálculo de carga parcial media de distribución por zona. La carga parcial media de distribución anual viene dada por:

$$\beta_{CLF,dst,anl} = \frac{Q_{CLF,dst,sld}}{\phi_{CLF,ems} \cdot t_{CLF,ON-OFF,anl}} \quad 11-36$$

- $Q_{CLF,dst,sld}$  Energía térmica producida del sistema de distribución anual (ya calculada) (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) (dato ya calculado).
- $f_{CLF,gnr,bmb,int}$  Factor de corrección para generadores con control de bomba integrado. 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  $f_{CLF,gnr,bmb,int} = 0,45$ .

De forma simplificada, el factor de energía consumida ( $e_{CLF,dst}$ ) se calcula de la forma siguiente (ecuación 5-33 antes descrita):

$$e_{CLF,dst} = \left( C_{p1} + C_{p2} \cdot \frac{1}{\beta_{CLF,dst}} \right) \cdot f_{CLF,dst,efc} \quad 11-37$$

donde

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

**Tabla 11.16:** Constantes  $C_{p1}, C_{p2}$  para el cálculo del factor de energía consumida

Control de bomba	$CP_1$	$CP_2$
Bomba no controlada	0,25	0,75
Control de la bomba: $\Delta p_{cte}$	0,75	0,25
Control de la bomba: $\Delta p_{vrb}$	0,90	0,10

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

$$f_{CLF,dst,efc} = \left( 1,25 + \left( \frac{200}{P_{CLF,hdr,dst}} \right)^{0,5} \right) \cdot 1,5 \cdot b \quad 11-38$$

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

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

$$W_{CLF,dst,aux,h} = W_{CLF,dst,aux,anl} \cdot \frac{\beta_{CLF,dst,h} \cdot 1}{\beta_{CLF,dst,anl} \cdot t_{CLF,ON-OFF,anl}} \quad 11-39$$

donde

- $\beta_{CLF,dst,h}$  Carga parcial media de la distribución en una hora. Ecuación 11-27.
- $t_{CLF,ON-OFF,h}$  Una hora  $t_{CLF,ON-OFF,h} = 1$ .
- $\beta_{CLF,dst,anl}$  Carga parcial media de la distribución en un año. Ya calculado
- $t_{CLF,ON-OFF,anl}$  Horas de calefacción al año (h/año). Ya calculado

## 11.4.2. Servicio de ACS

En 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. El consumo total de energía auxiliar se determina para un día mediante:

$$W_{ACS,dst,aux} = W_{ACS,dst,aux,bmb} + W_{ACS,dst,aux,tub-trc} \quad (\text{kWh/día}) \quad 11-40$$

donde

- $W_{ACS,dst,aux,tub-trc}$  Consumo de energía auxiliar para el calentamiento de tuberías<sup>155</sup> 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 esta propuesta se supone que  $W_{ACS,dst,aux,tub-trc} = 0$ . El cálculo del consumo de energía auxiliar para la bomba de circulación es (ecuación 6-4 antes descrita):

$$W_{ACS,dst,aux,bmb} = W_{ACS,dst,hdr} \cdot e_{ACS,dst} \quad (\text{kWh/día}) \quad 11-41$$

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 ( $W_{ACS,dst,hdr}$ ) depende de la resistencia hidráulica del subsistema de distribución y del tiempo de funcionamiento de la bomba:

$$W_{ACS,dst,hdr} = P_{ACS,hdr,dst} \cdot t_{ACS,bmb} \quad (\text{kWh/día}) \quad 11-42$$

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. Dato ya calculado. Tiempo de una extracción para sistemas individuales  $t_{ACS,ON}$  y horas de disposición en sistemas de recirculación  $t_{ACS,ON-OFF}$

La potencia hidráulica que demanda la bomba de circulación para vencer la resistencia hidráulica del sistema es:

$$P_{ACS,hdr,dst} = \frac{1}{3.600} \cdot \Delta p_{ACS,dst} \cdot V_{ACS,dst} \quad (\text{kW}) \quad 11-43$$

donde

- $V_{ACS,dst}$  Caudal volumétrico, en m<sup>3</sup>/h. 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:

$$V_{ACS,dst} = \frac{3.600 \cdot \phi_{ACS,dst}}{C_{e,ag} \cdot \rho_{ag} \cdot \Delta T_{ACS,dst}} \quad 11-44$$

<sup>155</sup>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.

- $\Delta p_{ACS,dst}$  Presión diferencial a través de la bomba, en kPa. Depende de la resistencia de los tubos y de los accesorios del sistema de circulación tal y como se muestra a continuación:

$$\Delta p_{ACS,dst} = 0,1 \cdot L_{ACS,max} + \sum \Delta p_{ACS,vrs} + \Delta p_{ACS,gnr} \quad 11-45$$

donde

- $L_{ACS,max}$  Longitud máxima del tubo, en m. Se puede determinar a partir de las dimensiones exteriores del edificio:

$$L_{ACS,max} = 2 \cdot (L_{lrg} + 2,5 + n_{vvn} \cdot h_{pln}) \quad 11-46$$

donde

- $L_{lrg}$  Longitud mayor del edificio, en m.
- $n_{pln}$  Número de viviendas calefactadas.
- $h_{pln}$  Altura media de una planta, en m.
- $\Delta p_{ACS,vrs}$  Presión diferencial a través de los accesorios, tales como, válvula antiretorno, 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.

El coeficiente de funcionamiento  $e_{ACS,dst}$  para el funcionamiento de la bomba de circulación se obtiene como sigue:

$$e_{ACS,dst} = f_{ACS,efc} \cdot (Cp_1 + Cp_2) \quad 11-47$$

donde

- $Cp_1, Cp_2$  Constantes indicadas en la tabla siguiente

**Tabla 11.17:** Valores de las constantes  $Cp_1, Cp_2$

Control de la bomba	$Cp_1$	$Cp_2$
Sin control	0,25	0,94
Con control	0,50	0,63

- $f_{ACS,efc}$  Factor de rendimiento según la siguiente definición

$$f_{ACS,efc} = \left( 1,25 + \left( \frac{200}{P_{ACS,hdr,dst}} \right)^{0,5} \right) \cdot 1,5 \cdot b \quad 11-48$$

donde b es el factor que determina el sobredimensionamiento:

- Bombas diseñadas para la demanda,  $b^{156} = 1$ .
- Bombas sobredimensionadas,  $b = 2$ .

<sup>156</sup>Para el caso del servicio de calefacción estos valores se utilizan para diferenciar la nueva construcción de la existente.

## 12. Conclusiones

En este capítulo se exponen de forma resumida los principales resultados y conclusiones obtenidos al aplicar y comparar la metodología propuesta por las normas CEN y los procedimientos generales para certificar edificios en España sobre edificios de los que se conoce su consumo real.

### 12.1. Generales

La estimación del consumo de climatización a partir de la demanda y el rendimiento ha sido aceptada a nivel nacional en el procedimiento básico de certificación energética de edificios (RD 235/2013) desconsiderando los consumos asociados a la emisión, transporte y pérdidas en las paradas de los generadores. En esta tesis se comprueba que las normas CEN sí consideran estos consumos lo cual llevan a unas no despreciables y mayores pérdidas energéticas. Así consiguen aproximar con mayor exactitud los consumos estimados a los valores reales del edificio.

### 12.2. Particulares

Se cree conveniente incorporar a la metodología de certificación energética española el consumo energético debido a las pérdidas térmicas en los subsistemas de emisión, distribución y paradas del subsistema de generación según proponen las normas CEN. No es necesario realizar un cálculo horario y la estimación mensual se cree conveniente como primera aproximación (consultar capítulo 10).

Como se detalló en el capítulo 2 de los 24.392 ktep (sobre un total de 93.348 ktep) de consumo de energía final de los edificios, el 42,5 % son debidos al consumo en calefacción y 19,4 % al ACS. Dejar de calcular estas pérdidas térmicas en la distribución de energía supone no analizar, sobre el consumo total de energía, un 20 % de este consumo (valor estimado sobre la base de los edificios analizados en este trabajo). Esto quiere decir que hay 3.025 ktep, esto es un total del 3% del consumo de energía final en España, sobre los que no se está analizando y cuantificando posibles mejoras de eficiencia energética y podrían ayudar a conseguir el objetivo 20 20 20.

#### 12.2.1. Aplicación de las normas CEN

El campo de aplicación principal de las normas europeas es calcular las pérdidas, requisitos de combustible y de energía auxiliar para los sistemas que abastecen los servicios de calefacción y ACS según las metodologías propuestas.

Se concluye tras la lectura y análisis de las normas CEN y de los procedimientos desarrollados en España, que ambos no siguen la misma estructura. No se cuantifica en España las pérdidas térmicas del subsistema de distribución ni el de emisión y debiera realizarse.

No todos los valores propuestos por las normas CEN se pueden trasladar a los edificios de España para ser utilizados para estimar el consumo energético de los edificios. Fundamentalmente los que dependen de las dimensiones del edificio, como por ejemplo, la estimación de la longitud de las tuberías de distribución.

#### 12.2.2. Consumos

La climatización y el servicio de ACS representan aproximadamente el 70 % de la energía final consumida en edificios (tercer consumidor energético de nuestro país) y por tanto se debe cuantificar de forma independiente cada uno de los subsistemas que lo componen según proponen las normas CEN. Además siguiendo esta metodología se conseguirá mantener la homogeneidad que la unión europea pretende para los Estados Miembros.

Ninguno de los programas de simulación computacional, herramientas de calificación energética de España, se aproxima a los consumos reales, por no tener en cuenta todas las partes integrantes de los sistemas.

Finalmente, sería conveniente advertir, a los usuarios que realicen una compra o alquiler de un edificio, que el consumo energético que muestra la etiqueta de eficiencia energética, no es el consumo energético real que vaya a tener el edificio en un futuro. No solo porque es muy difícil estimar cuales serán los horarios de ocupación y funcionalidad del edificio, sino porque actualmente, como se ha mostrado en la tesis, no se están considerando todos los subsistemas que consumen energía.

### **12.2.3. Aportaciones**

Las principales aportaciones realizadas por este trabajo pueden resumirse en los siguientes puntos:

- A nivel teórico se ha realizado una síntesis sobre la energética edificatoria exigida por las normas del Comité Europeo de Normalización y se ha propuesto una metodología común para su posible aplicación en España. Para completar las normas se ha realizado un ejercicio sobre el que se desarrolla toda la metodología de las normas CEN y la establecida por los programas de simulación computacional CALENER.
- La metodología general propuesta sirve para estimar el consumo de energía y para obtener la eficiencia energética. Se ha comparado con el consumo real de varios edificios y se ha comprobado que sólo con los procedimientos de la norma CEN se pueden conseguir llegar a estimar los consumos reales del edificio.
- El estudio pormenorizado de los consumos energéticos de los edificios apunta a nivel nacional, que no considerar los consumos en los subsistemas de emisión y distribución, significa no cuantificar potenciales ahorros sobre el 3% del consumo total de energía final de nuestro país.
- Una propuesta (Capítulo 11 *Propuesta*) para adaptar al procedimiento básico de certificación energética de los edificios en España (regulado según RD 235/2013) para considerar en el procedimiento todos los subsistemas de los que depende el consumo energético de un edificio.

### **12.2.4. Desarrollos futuros**

Aunque el escenario tratado se considera suficientemente representativo para edificios de viviendas, se cree conveniente aplicar la metodología propuesta a una muestra más amplia de edificios y climas para confirmar los resultados aquí obtenidos.

Sería interesante acometer estudios similares sobre otras tipologías de edificios y tipos de servicio de calefacción.

Esta tesis establece las consideraciones más importantes en relación a las normas CEN obviadas dentro de la certificación energética española y que debieran considerarse para el perfeccionamiento de la reglamentación energética y de las medidas de ahorro. Permite cuantificar el potencial de ahorro energético que puede obtenerse con mejoras en subsistemas hoy no considerados en la certificación energética de edificios.

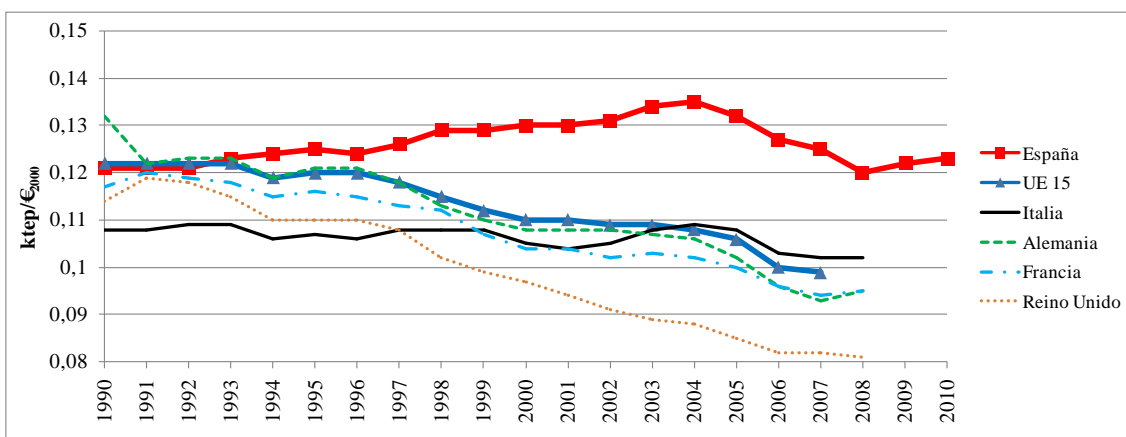
## 13. Anexo I: Consumo de energía en la edificación y equipamiento

Se analiza en este capítulo el presente y futuro del consumo de energía a partir de los datos aportados por el Plan de Acción de Ahorro y Eficiencia Energética y el Plan de Acción Nacional de Energías Renovables de España en los que se analiza la estrategia afrontada por nuestro país para alcanzar los retos asumidos para cumplir las imposiciones europeas en materia de eficiencia energética y evitar el cambio climático. En ellos se proporcionan datos referentes a los consumos de energía final por fuentes en España y ahorros por sectores (se analizará por tanto el dedicado a la edificación y equipamiento) conseguidos desde 2004 y los esperados en el año 2020 fruto de los anteriores planes.

### 13.1. España dentro de la Unión Europea

Se comparan en esta sección los indicadores energéticos de nuestro país con la media europea más representativa y con algunos países miembros.

Comparando a España con alguno de los países de la Unión Europea se observa que la tendencia seguida por la intensidad final de energía (relación entre el consumo de energía final y el producto interior bruto constante para el año 2000) ha mostrado una mayor convergencia con la media europea con posterioridad al año 2004.

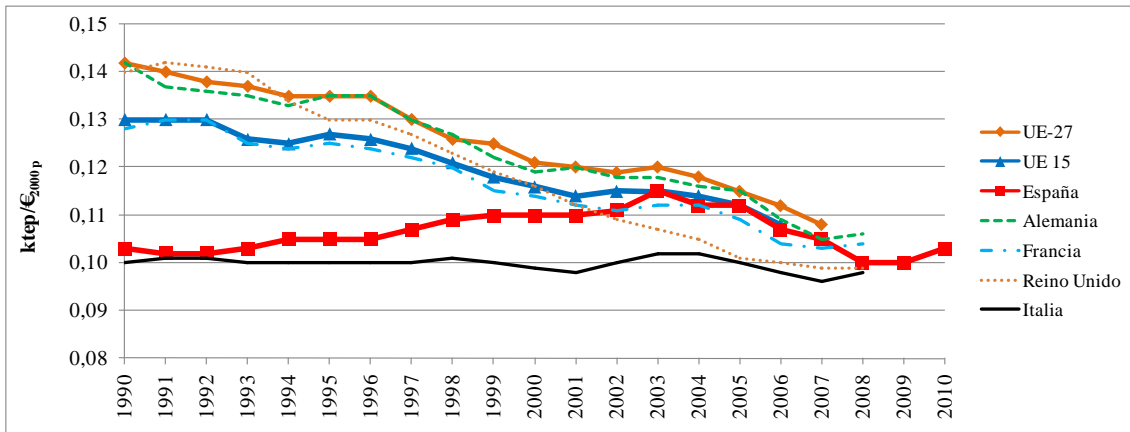


**Imagen 13.1:** Evolución de la intensidad final en España y la UE. Fuente: EnR/IDAE. UE 15: Alemania, Austria, Bélgica, Dinamarca, España, Finlandia, Francia, Grecia, Irlanda, Italia, Luxemburgo, Países Bajos, Portugal, Reino Unido y Suecia

A paridad de poder de compra permite llegar a conclusiones similares, mejorando la posición nacional respecto a la medida europea, debido a la corrección introducida mediante dicho ajuste.

La paridad del poder de compra es la suma final de cantidades de bienes y servicios producidos en un país, a valor monetario de un país de referencia.

Es una de las medidas más adecuadas para comparar la producción de bienes y servicios, con ventajas sobre el producto interno bruto nominal *per cápita*, puesto que toma en cuenta las variaciones de precios. Este indicador elimina la ilusión monetaria ligada a la variación de los tipos de cambio, de tal manera que una apreciación o depreciación de una moneda no cambiará la paridad del poder adquisitivo de un país, puesto que los habitantes de ese país reciben sus salarios y hacen sus compras en la misma moneda.

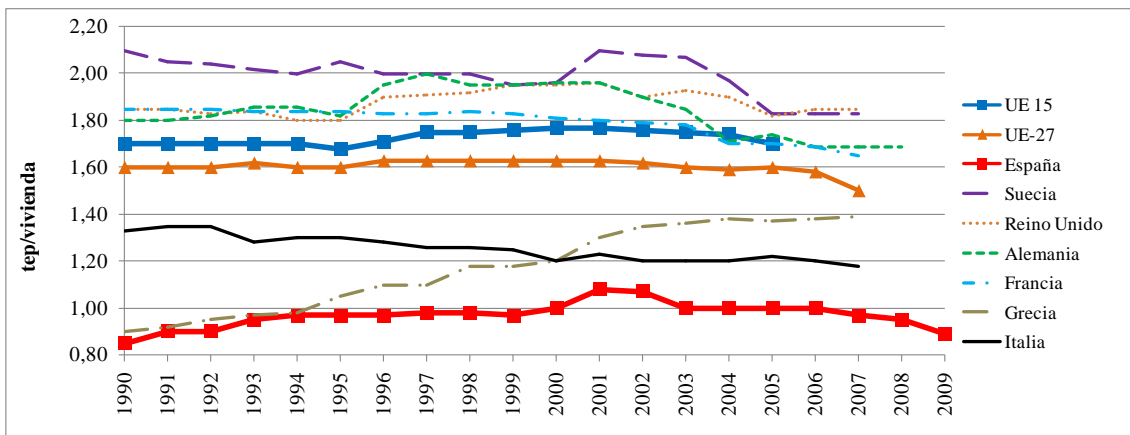


**Imagen 13.2:** Intensidad final a paridad de poder de compra. Fuente: IDAE

Si se compara la intensidad energética en el sector vivienda español con el de otros países de la Unión Europea, se observa que la intensidad energética en España (0,92 tep/vivienda) está en torno al 40% por debajo de la media europea (1,53 tep/vivienda = 10.581 kWh/vivienda), tomando como referencia datos de 2008.

Esto es debido a la climatología benigna de nuestro país, lo que incide en menores necesidades de calefacción, servicio predominante en vivienda como se ha dicho.

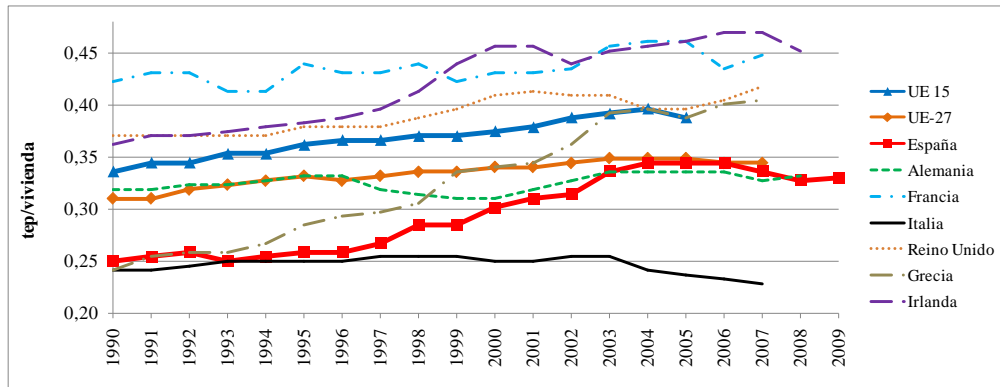
La tendencia decreciente en los últimos años del consumo por hogar en España bajando de 1,03 tep/vivienda en 2006 a 0,89 tep/vivienda en 2009 (un descenso del 13,5%) es debido nuevamente como resultado de los programas de ahorro y eficiencia energética llevados a cabo en los últimos años en nuestro país.



**Imagen 13.3:** Intensidad energética en el sector vivienda con correcciones climáticas en España y UE. Fuente: IDAE /INE

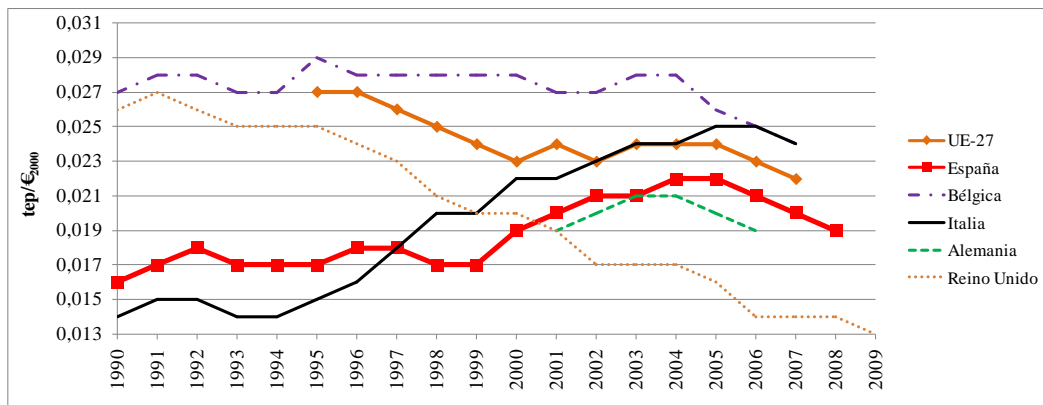
Comparando solamente la intensidad de energía eléctrica en las viviendas, se observa cómo en los últimos años España se ha acercado a la media europea, estando aun por debajo y con tendencia partir del 2006 a seguir bajando. En 2009 el consumo eléctrico por vivienda en España ascendió a 0,33 tep/vivienda (3.721 kWh/vivienda), mientras que, en la UE-27, supuso 0,35 tep/vivienda (4.070 kWh/vivienda). El inicio de la tendencia descendente coincide nuevamente con el 2005, año en el que se iniciaron los Planes de Acción de Ahorro y Eficiencia Energética aprobados dentro del marco de la E4.





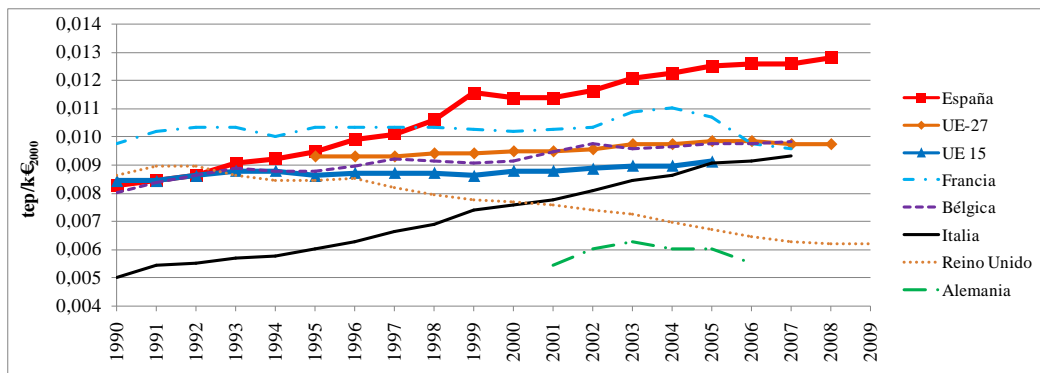
**Imagen 13.4:** Intensidad de energía eléctrica en el sector vivienda. Fuente: IDAE

En el sector terciario se muestra una tendencia ascendente, si bien por debajo de la media europea, hasta alcanzar una convergencia con la media europea a inicios de la pasada década. Desde entonces, ambos indicadores, el nacional y el europeo han evolucionado en paralelo, registrando ambos una cierta estabilización con tendencia a la baja que, en el caso nacional, se manifiesta a partir del año 2005, evolucionando por debajo de la media europea a una distancia del orden del 20%, que continúa en la actualidad reforzada por el efecto de la crisis por la que atraviesa España, que repercute en una menor actividad así como en una caída de la productividad.



**Imagen 13.5:** Intensidad de energía en el sector terciario. Fuente: IDAE

Una valoración de la intensidad eléctrica de este sector en nuestro país muestra que evoluciona por encima de la media europea y de los países vecinos así por ejemplo en el año 2008, el indicador nacional es 0,013 tep/€2000 (148,5 kWh/€2000) que supera la media europea 0,010 tep/€2000 (112,39 kWh/€2000) en un 32%.



**Imagen 13.6:** Intensidad de energía eléctrica en el sector terciario. Fuente: IDAE

Esta circunstancia se explica por el elevado peso que el consumo eléctrico presenta en este sector, del orden del 60-70%, muy por encima del correspondiente al conjunto de la Unión Europea, especialmente, de los países del norte, que presentan una mayor demanda en calefacción, cubierta principalmente con combustibles. En contraste, la mayor demanda eléctrica del sector terciario concentrada en edificios de oficinas y el comercio, del orden del 80%, viene asociada a necesidades de refrigeración sensiblemente superiores a las de la media europea.

### 13.2. Consumos y ahorros. Ratios de energía (indicadores)

Se analizan en este apartado los valores de consumo (de sus servicios más fundamentales, calefacción, refrigeración, agua caliente sanitaria e iluminación) y de su equipamiento (básicamente equipamiento ofimático para edificios terciarios y electrodomésticos para edificios de viviendas).

La energía es una magnitud fácilmente medible, sin embargo, los servicios que la consumen incluyen actividades muy diversas (enfriar un local, iluminar un edificio...) difícilmente cuantificables. En cualquier caso si se desea cuantificar la eficiencia y los ahorros es necesario relacionar ambas magnitudes [2.17]. La relación entre este consumo de energía y la variable de actividad considerada (dependiendo del servicio y edificio analizado) se utiliza como principal indicador energético (ratio energético) [2.18].

$$IE = \text{Consumo de energía} / \text{Variable de actividad considerada} \quad 13-1$$

En principio menor intensidad energética implica mayor eficiencia. Sin embargo, la definición, clasificación y cuantificación de las variables de actividad de cada servicio y edificio es clave para discutir los ahorros energéticos y si la disminución de un consumo (ahorro) conlleva un aumento de la eficiencia.

La Directiva 2006/32/CE [2.16] establecía en su artículo 14 que los Estados Miembros presentarían un segundo Plan de Acción de Eficiencia Energética antes del 30 de junio de 2011. Dicho Plan de Acción incluía un análisis y una evaluación del Plan anterior, esto es, del Plan de Acción 2008-2012 (primer Plan de Acción a los efectos de la Directiva 2006/32/CE), así como los resultados sobre los objetivos de ahorro energético establecidos en el artículo 4 para el tercer año de aplicación de la Directiva.

Para esta evaluación se utiliza la metodología propuesta en la Directiva resultado de la combinación de los enfoques diferenciados en función del tipo de indicador energético utilizado:

- Enfoque descendente: utiliza indicadores (denominados por la Comisión Europea indicadores *M* ó *P*) basados en las diferencias entre los consumos unitarios del año de referencia (2004 ó 2007) y el año de cálculo (2010). Estos indicadores utilizan información de los consumos del sector y datos estadísticos de las distintas variables de actividad.
- Indicadores ascendentes (*BU*) utilizan información contrastada sobre cada una de las actuaciones llevadas a cabo durante el periodo de análisis. El resultado de los mismos será el producto de la diferencia entre los consumos antes y después de la implantación de la mejora por el número de actuaciones.

En el sector residencial y terciario (calefacción, refrigeración, ACS, iluminación y su equipamiento) básicamente se utilizan los indicadores *P* (preferidos por la Comisión Europea), con alguna excepción en el sector terciario, donde se utilizan los indicadores *M* (mínimos) propuestos por la Comisión Europea por ausencia de información estadística de calidad sobre las variables de actividad que formaban parte de los inicialmente propuestos como indicadores *P*.

La siguiente tabla resume los indicadores energéticos descendentes (M y P) que se van a calcular, las variables de actividad relacionadas y cuales son utilizados para evaluar el ahorro (casillas grises de la tabla).

**Tabla 13.1:** Indicadores M y P utilizados en edificios. Resaltados los utilizado para evaluar el ahorro.

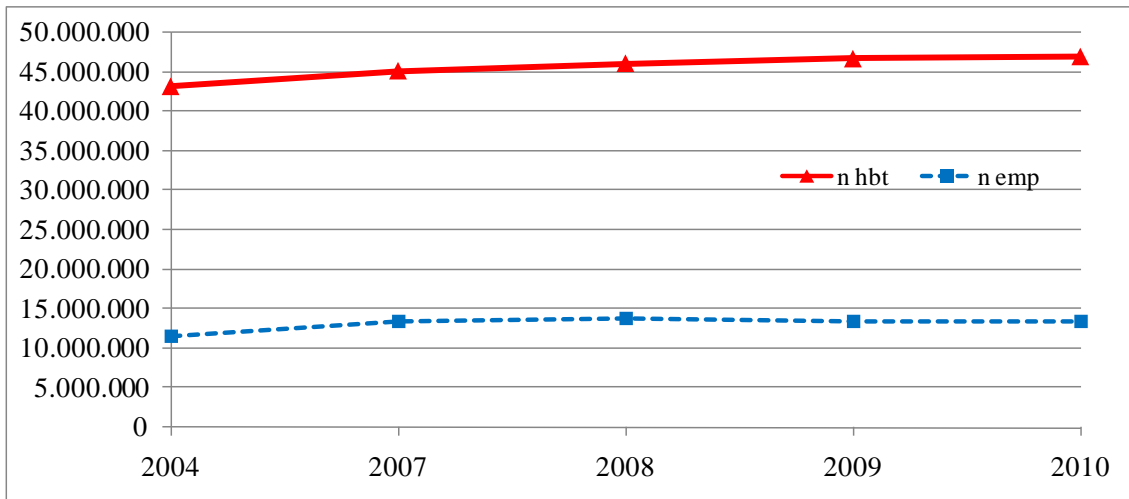
	NOMENGLATURA	DESCRIPCION	VARIABLE DE ACTIVIDAD	INDICADOR ENERGETICO (RATIO)			
RESIDENCIAL	M1 <sub>11</sub>	Térmico	viviendas	tep/vivienda			
	M1 <sub>12</sub>				ACS. Térmico		
	M1 <sub>3</sub>				Cocinas. Térmico		
	M2 <sub>11</sub>	Eléctrico			Calefacción. Eléctrico		
	M2 <sub>12</sub>				Refrigeración. Eléctrico		
	M2 <sub>13</sub>				ACS. Eléctrico		
	M2 <sub>2</sub>				Iluminación		
	M2 <sub>3</sub>				Cocinas. Eléctrico		
	M2 <sub>4</sub>				Electrodomésticos. Eléctrico		
	P1	Eléctrico y Térmico			Calefacción. Térmico y eléctrico	m <sup>2</sup> (1)	tep/m <sup>2</sup>
	P2				Refrigeración. Térmico y eléctrico		
	P3				ACS. Térmico y eléctrico.	habitante	tep/habitante
	P4	Eléctrico			Electrodomésticos	electrodomésticos	tep/ electrodomésticos
P4 <sub>1</sub>	Eléctrico y Térmico	Horno. Térmico y eléctrico	horno	tep/ horno			
P5	Eléctrico	Iluminación	viviendas	tep/vivienda			
TERCIARIO	M3 <sub>11</sub>	Térmico	empleado	tep/empleado			
	M3 <sub>12</sub>				ACS. Térmico		
	M3 <sub>3</sub>				Cocinas. Térmico		
	M4 <sub>11</sub>	Eléctrico			Calefacción. Eléctrico		
	M4 <sub>12</sub>				Refrigeración. Eléctrico		
	M4 <sub>13</sub>				ACS. Eléctrico		
	M4 <sub>2</sub>				Iluminación		
	M4 <sub>3</sub>				Cocinas eléctrico		
	M4 <sub>4</sub>				Ofimática		

(1) m<sup>2</sup> metros cuadrados de superficie útil.

### 13.2.1. Evolución de las variables de actividad

Se analizan en este apartado las variables de actividad utilizados en los indicadores energéticos utilizados y las demás variables necesarias para estimar el ahorro energético (variables para corregir los datos obtenidos como por ejemplo los grados día o el número de electrodomésticos que se acogen a un plan renove o su grado de penetración en las viviendas).

Una de las primeras variables de actividad que se analizan es el número de habitantes (n<sub>hbt</sub>) censado en nuestro país (utilizado para el indicador P3) y el número de empleados a tiempo completo (utilizado en los indicadores M3 y M4).



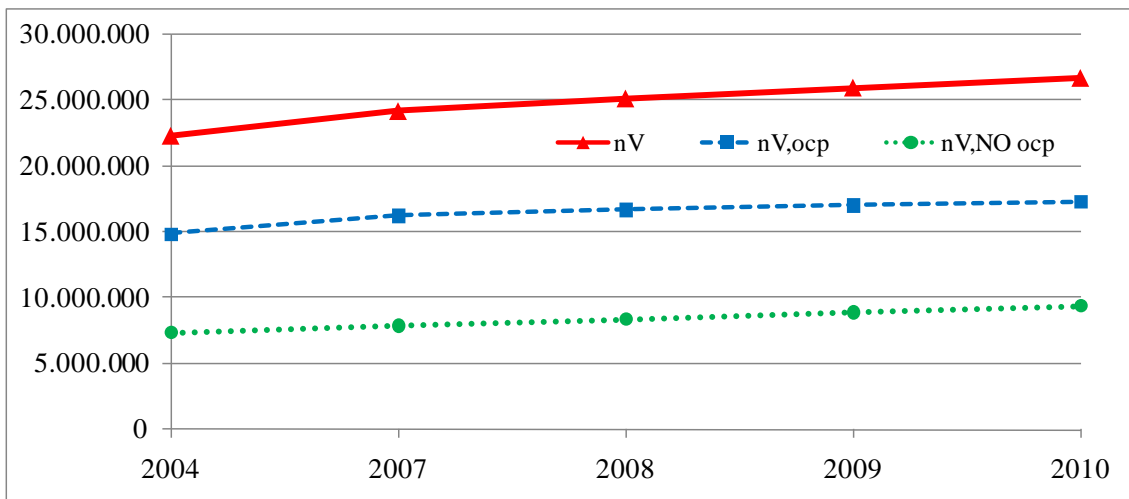
**Imagen 13.7:** Evolución del número de empleados a tiempo completo y número de habitantes

Se observa una caída de empleados a tiempo completo a partir de 2008 como resultado de la coyuntura económica actual. La variable de empleados a tiempo completo puede sufrir mayores variaciones en periodos de recesión económica, por lo que debe analizarse dicha situación a la hora de evaluar los resultados en el sector terciario (indicadores M3 y M4).

Otra de las variables de actividad utilizadas es el número de edificios que conforman el parque edificatorio y los m<sup>2</sup> de superficie que se han construido.

El parque de viviendas en el año 2008 fue de 25.122.000 viviendas, de las que un 66,6%, es decir, 16.741.000 son viviendas principales y 8.381.000, el 33,3%, viviendas de segunda ocupación (viviendas no ocupadas permanentemente).

En el gráfico de la imagen 13.8 se recoge la evolución durante los últimos años del número de viviendas construidas.



**Imagen 13.8:** Evolución de viviendas en España

La variable viviendas ocupadas presenta un comportamiento estable observándose un crecimiento menor de las viviendas ocupadas en los últimos años.

Se detalla a continuación la evolución de las viviendas nuevas a partir de la publicación del RD 47/2007 [2.19] y su clasificación en función de la calificación energética que han conseguido (A...E).

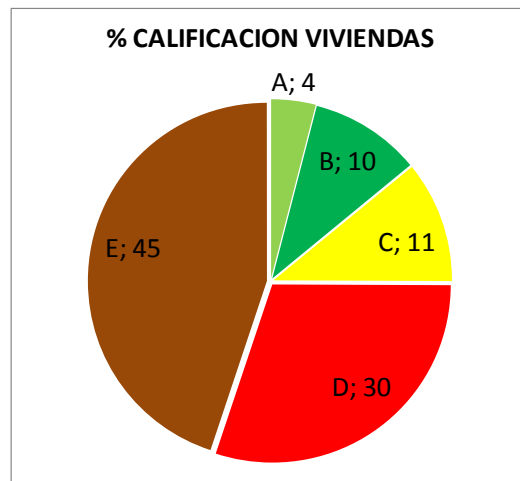
**Tabla 13.2:** Variables de actividad ligadas al Código Técnico de la Edificación periodo 2004-2010

	2007	2008	2009	2010
nV,nc (número de viviendas de nueva construcción)	421.844	461.000	327.000	236.000
% V,nc,blq	84	80	77	75
% V,nc,unf	16	20	23	25
m <sup>2</sup> <sub>V,nc,blq</sub>	98	97	96	94
m <sup>2</sup> <sub>V,nc,unf</sub>	168	173	176	179
% Viviendas con equipos de calefacción	70	70	70	70
% Viviendas con equipos de refrigeración	36	36	36	36

**Tabla 13.3:** Número de viviendas nuevas construidas por calificación

CALIFICACION	Tipo de vivienda	2007	2008	2009	2010	TOTAL
A	Bloque	14.354	14.750	10.124	7.163	46.391
	Vivienda	2.639	3.699	2.986	2.375	11.699
	Total	16.993	18.449	13.110	9.538	58.090
B	Bloque	35.886	36.869	25.281	17.816	115.852
	Vivienda	6.599	9.238	7.437	5.845	29.119
	Total	42.485	46.107	32.718	23.661	144.971
C	Bloque	39.474	40.555	27.808	19.592	127.429
	Vivienda	7.259	10.160	8.179	6.423	32.021
	Total	46.733	50.715	35.987	26.015	159.450
D	Bloque	107.657	110.594	75.806	53.327	347.384
	Vivienda	19.796	27.700	22.275	17.412	87.183
	Total	127.453	138.294	98.081	70.739	434.567
E	Bloque	161.486	165.887	113.700	79.960	521.033
	Vivienda	26.694	41.548	33.404	26.087	127.733
	Total	188.180	207.435	147.104	106.047	648.766
<b>Total</b>		421.844	461.000	327.000	236.000	1.445.844

Mayoritariamente las viviendas que se han construido a partir del 2007 han obtenido una calificación energética E (45%) y D (30%) siendo un porcentaje bajo las viviendas con calificaciones energéticas C (11%) y B (10%) y sólo un porcentaje muy bajo, el 4%, son viviendas de alta eficiencia energética (viviendas A).

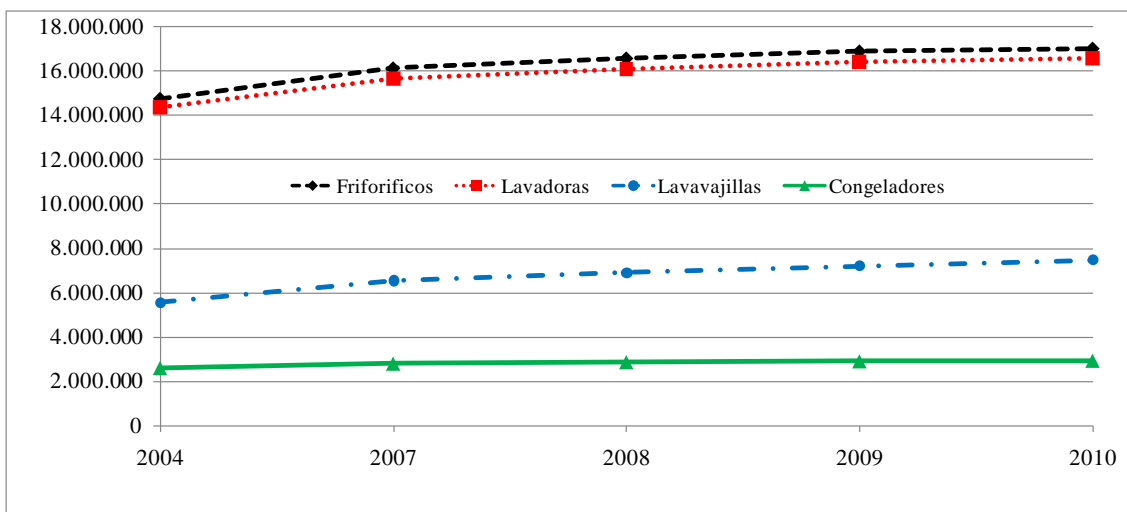


**Imagen 13.9:** Distribución de calificación energética de nuevas viviendas

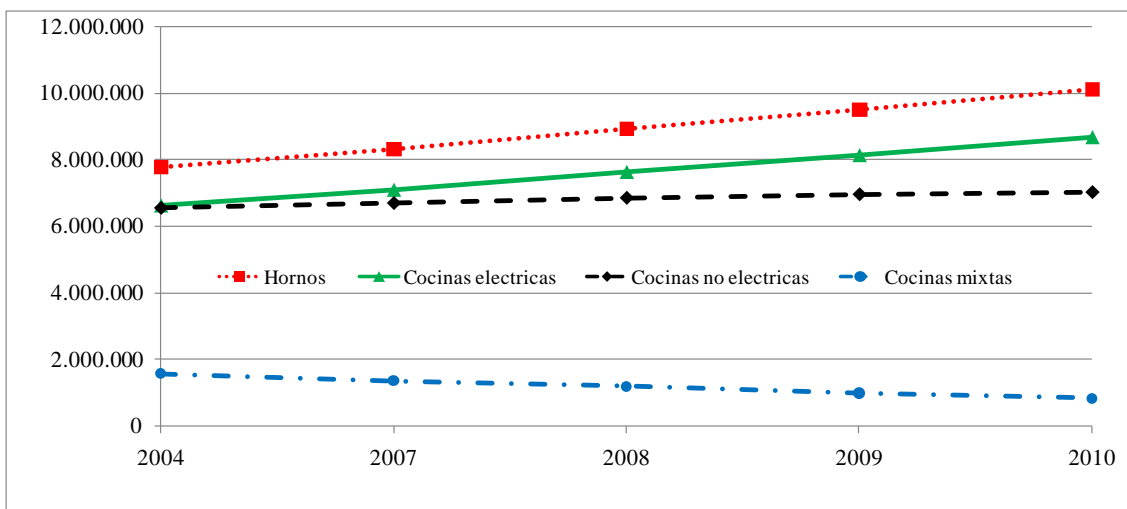
Otras de las variables de actividad utilizadas para analizar el ahorro energético en el equipamiento es el número de electrodomésticos de gama blanca (electrodomésticos) y gama marrón (hornos y cocinas) en las viviendas (utilizado para los indicadores P).

**Tabla 13.4:** Variables de actividad utilizadas en el cálculo de ahorros de los indicadores P en la medida Renovación de electrodomésticos en el periodo 2004-2010. Consumo en ktep

GAMA	Existencias	2004	2007	2008	2009	2010
<b>GAMA BLANCA</b>	<b>Frigoríficos</b>	14.752.000	16.135.000	16.584.000	16.899.000	17.027.000
	<b>Congeladores</b>	2.593.000	2.792.000	2.857.000	2.899.000	2.924.000
	<b>Lavadoras</b>	14.362.000	15.651.000	16.091.000	16.402.000	16.577.000
	<b>Lavavajillas</b>	5.554.000	6.550.000	6.901.000	7.205.000	7.475.000
	<b>Hornos</b>	7.781.000	8.318.000	8.933.000	9.508.000	10.123.000
<b>GAMA MARRON</b>	<b>Cocinas mixtas</b>	1.574.000	1.368.000	1.190.000	991.000	837.000
	<b>Cocinas eléctricas</b>	6.624.000	7.100.000	7.642.000	8.152.000	8.697.000
	<b>Cocinas no eléctricas</b>	6.557.000	6.706.000	6.865.000	6.974.000	7.040.000



**Imagen 13.10:** Evolución de electrodomésticos de gama blanca

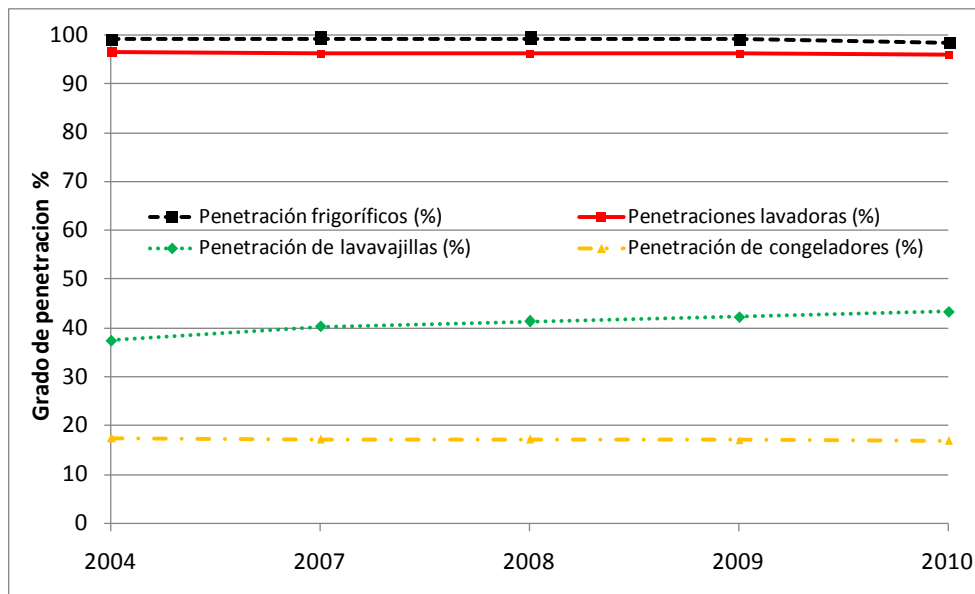


**Imagen 13.11:** Evolución de electrodomésticos de gama marrón

Comparando el número de viviendas y electrodomésticos en las viviendas se observa que desde 2004 se ha producido un incremento de la penetración de determinados electrodomésticos lo que ha generado una mayor intensidad energética por vivienda.

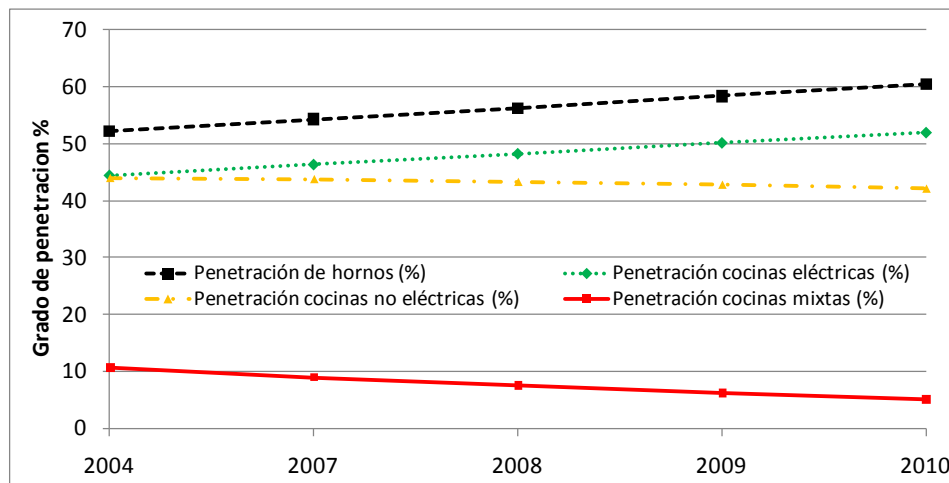
**Tabla 13.5:** Variables de actividad renovación de electrodomésticos en el periodo 2004-2010

Tipo de equipamiento	2004	2007	2008	2009	2010
Penetración frigoríficos (%)	99	99,1	99,1	99	98,4
Penetración de congeladores (%)	17,4	17,1	17,1	17	16,9
Penetraciones lavadoras (%)	96,4	96,1	96,1	96,1	95,8
Penetración de lavavajillas (%)	37,3	40,2	41,2	42,2	43,2
Penetración de hornos (%)	52,2	54,3	56,3	58,4	60,5
Penetración cocinas mixtas (%)	10,6	8,9	7,5	6,1	5
Penetración cocinas eléctricas (%)	44,4	46,3	48,2	50,1	51,9
Penetración cocinas no eléctricas (%)	44	43,8	43,3	42,8	42,1



**Imagen 13.12:** Penetración de electrodomésticos en el sector doméstico en el periodo 2004-2010

Sin embargo la penetración de cocinas mixtas (de combustible fósil) en los hogares ha disminuido en el periodo de análisis (-6,1%), lo que produce una caída del consumo de combustible por vivienda. Sin embargo un efecto contrario se observa en las cocinas eléctricas ya que debido a su mayor penetración aumenta su porcentaje de uso y por tanto aumenta el consumo eléctrico.



**Imagen 13.13:** Penetración de hornos y cocinas en el sector doméstico en el periodo 2004-2010

Finalmente se exponen los grados día medios de España de cada año de estudio en periodos de calefacción y refrigeración y la media de los últimos 25 años (GD CLF 25 y GD RFR 25) para corregir los ahorros obtenidos<sup>157</sup> (los consumos de energía dependen de las condiciones exteriores) de cada año.

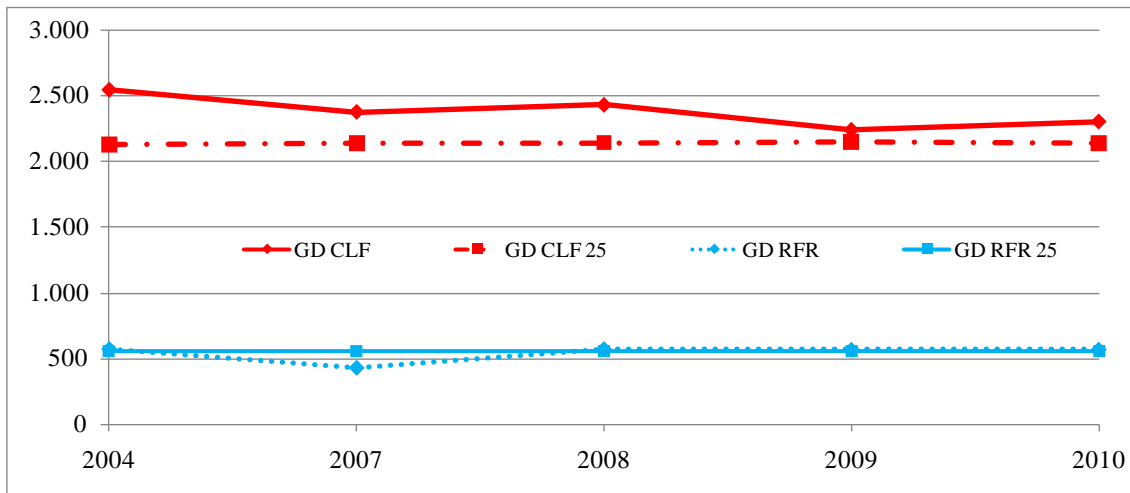


Imagen 13.14: Grados días de calefacción y refrigeración

### 13.2.2. Consumos en viviendas y edificios terciarios

El consumo de energía en viviendas y edificios terciarios comprende los servicios de calefacción, refrigeración, ventilación, producción de agua caliente sanitaria (ACS) e iluminación así como el resto de equipamiento habitual en función de los sectores de actividad (electrodomésticos, frío comercial e industrial, ofimática, etc.).

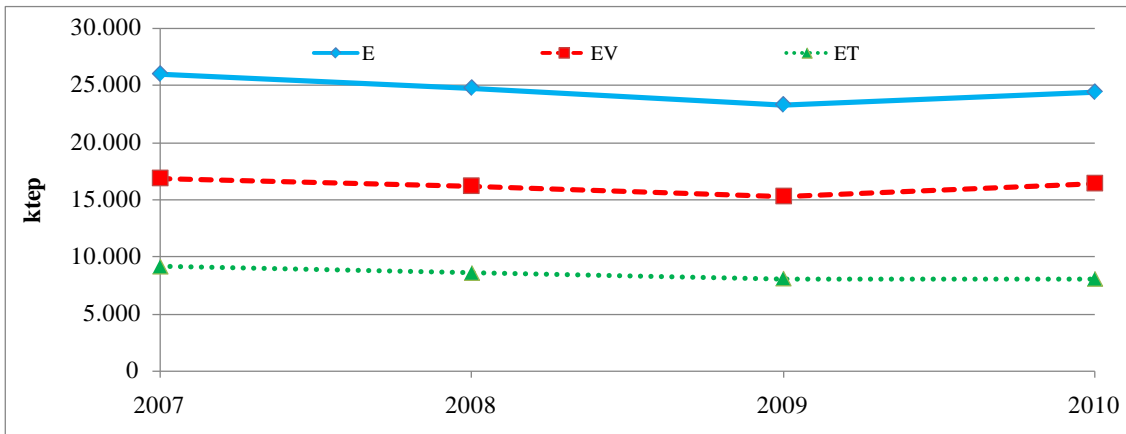
El consumo de energía en viviendas y edificios terciarios ascendió, en el año 2010, como ya se comentó (imagen 2.4) a 24.392 ktep, sobre un consumo total nacional para usos energéticos de 93.348 ktep, lo que representa el 27 % (tabla 2.2) del consumo de energía final nacional para usos energéticos.

De este consumo, 16.377 ktep correspondieron a los edificios de viviendas, es decir un 18 % del consumo energético nacional y 8.015 ktep a los edificios terciarios, que representan un 9 % sobre el consumo energético total nacional.

La evolución del consumo energético anterior, en el periodo 2004-2010, se representa en el siguiente gráfico:

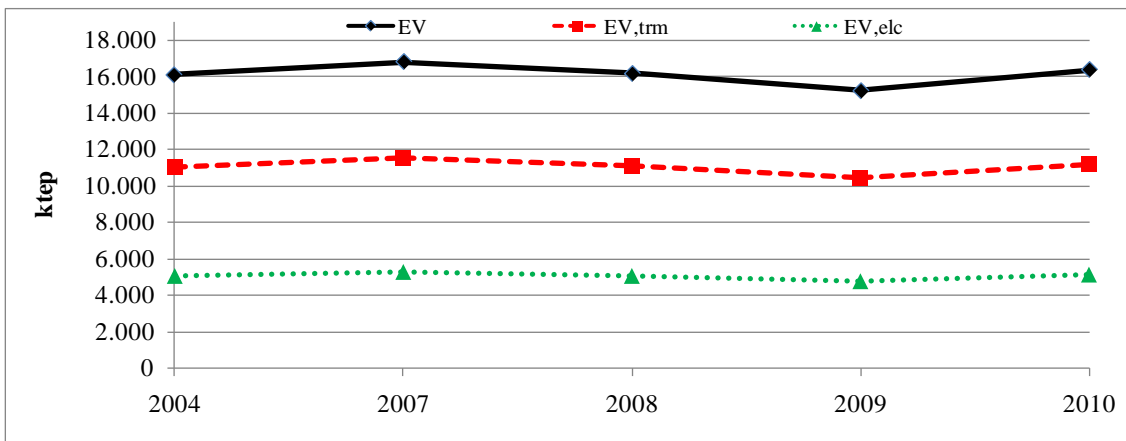
<sup>157</sup> Si la evaluación energética no se basa en el consumo energético a lo largo de al menos tres años completos, es necesaria una corrección del consumo de energía por temperatura para asegurar que la energía consumida durante el periodo de análisis es representativa de la temperatura media para la situación o región del edificio UNE EN 15603[3.5]





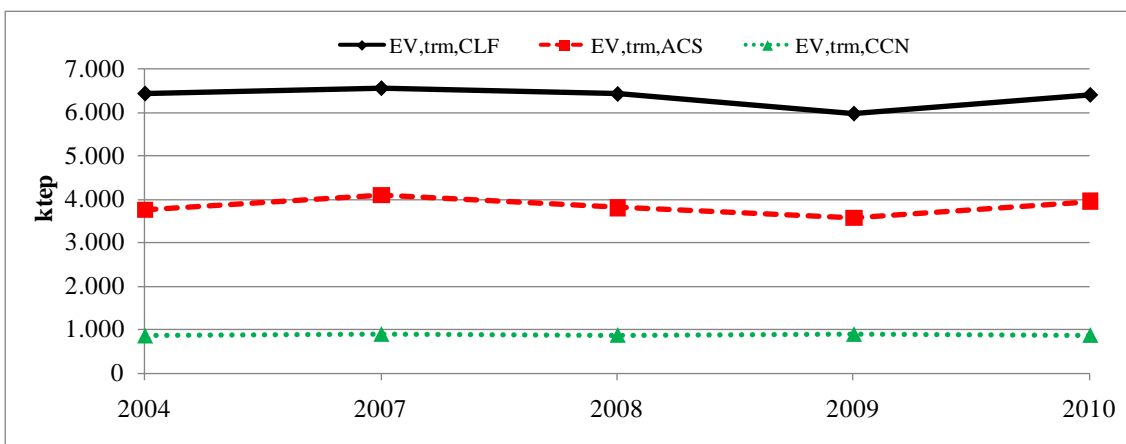
**Imagen 13.15:** Evolución de consumos Sector Edificios en el periodo 2007-2010. Fuente MITyC/IDAE.  
 E: Consumo de energía en el sector edificación y equipamiento. EV: Consumo energético en viviendas.  
 ET: Consumo energético en edificios terciarios.

De entre las fuentes de energía de un edificio de viviendas, térmicas y eléctricas, se observa que el consumo térmico (EV, trm) es del orden de 11.223 ktep en 2010, más del doble del consumo eléctrico (EV, elc), de 5.154 ktep, para ese mismo año.



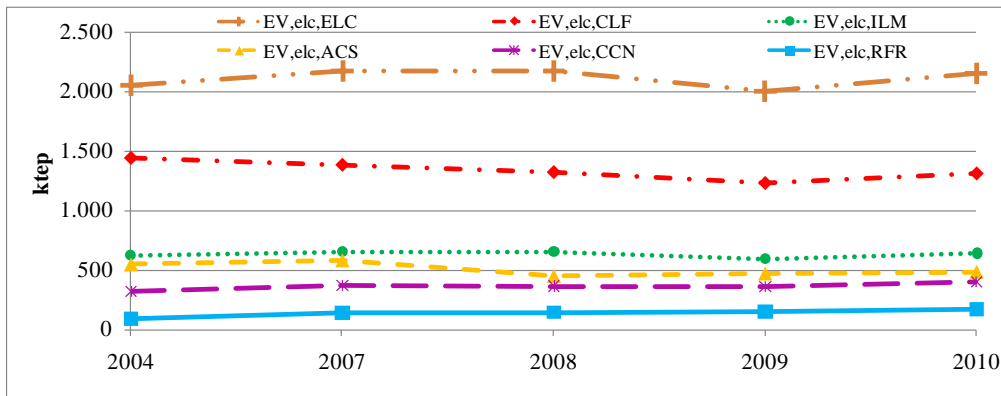
**Imagen 13.16:** Evolución de consumos en viviendas en el periodo 2007-2010. Fuente MIEyT/IDAE

Dentro del consumo energético térmico (EV, trm) el servicio de calefacción (EV, trm, CLF) es el mayor consumidor, seguido del servicio de ACS (EV, trm, ACS) y por el último el debido a las cocinas de fogones (EV, trm, CCN).



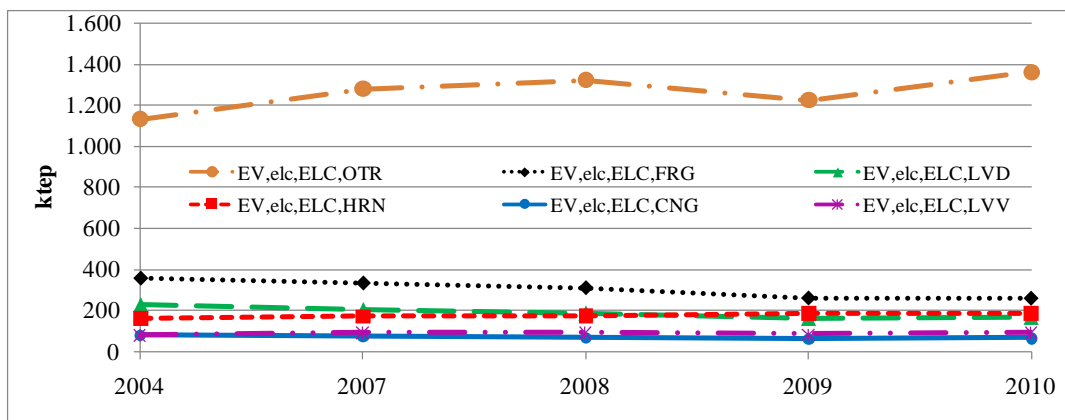
**Imagen 13.17:** Evolución de consumo térmico en viviendas. Fuente MIEyT/IDAE

El mayor consumidor de energía eléctrica dentro de las viviendas son los electrodomésticos (EV, elc, ELC) seguidos del consumo eléctrico calefacción (EV, elc, CLF). El menor consumidor de energía son los equipos de climatización de refrigeración (EV, elc, RFR), cocinas (EV, elc, CCN), ACS (EV, elc, ACS) e iluminación (EV, elc, ILM).



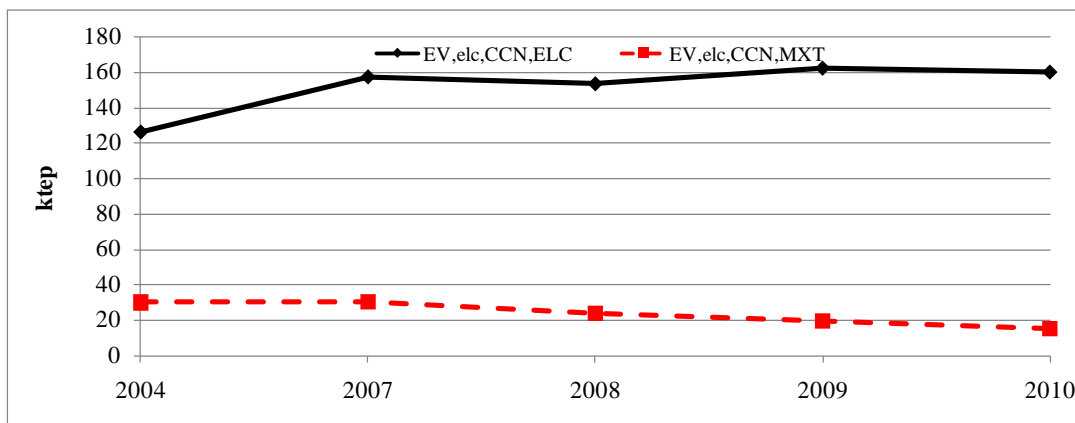
**Imagen 13.18:** Evolución de consumo eléctrico en viviendas. Fuente MIEyT/IDAE

Dentro del consumo eléctrico de los electrodomésticos (EV, elc, ELC) se puede diferenciar entre frigoríficos (EV, elc, ELC, FRG), lavadoras (EV, elc, ELC, LVD), hornos (EV, elc, ELC, HRN), congeladores (EV, elc, ELC, CNG), lavavajillas (EV, elc, ELC, LVV) con consumos similares, y otro equipamiento (EV, elc, ELC, OTR), siendo este último el mayor consumidor.



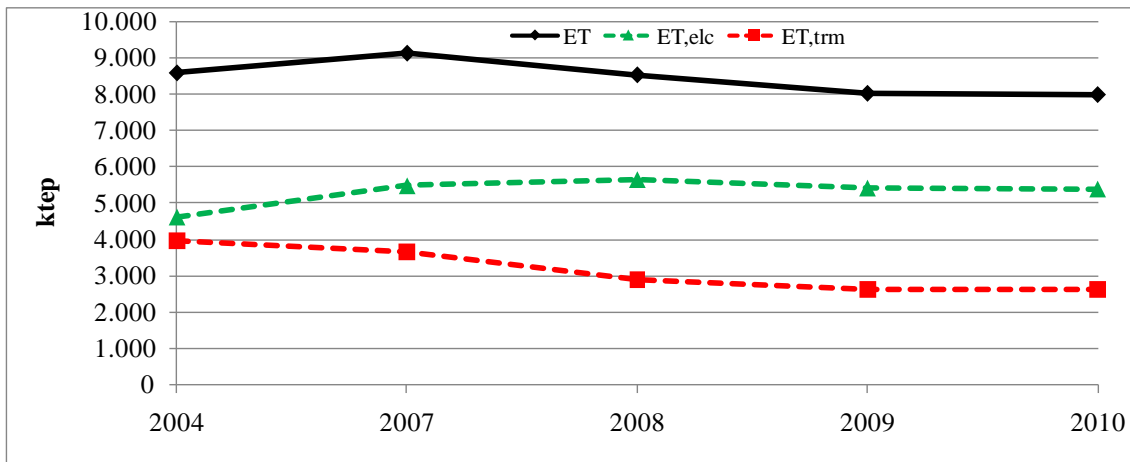
**Imagen 13.19:** Evolución consumo eléctrico electrodomésticos viviendas. Fuente MIEyT/IDAE

Dentro del consumo eléctrico de las cocinas (EV, elc, CCN) son las cocinas eléctricas (EV, elc, CCN, ELC) las mayores consumidoras frente a las cocinas mixtas (EV, elc, CCN, MXT).



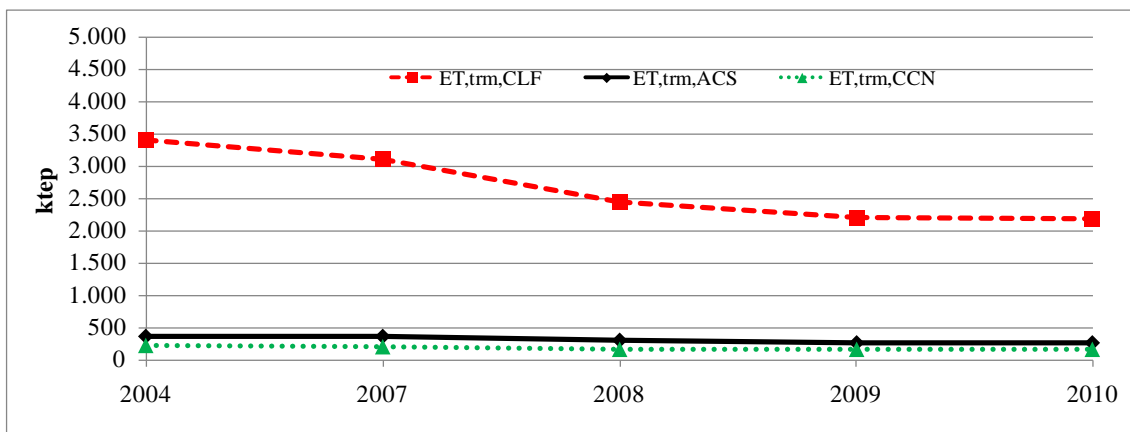
**Imagen 13.20:** Evolución de consumo eléctrico de cocinas en viviendas. Fuente MIEyT/IDAE

Para el caso del consumo en los edificios terciarios (ET) es mucho mayor el consumo eléctrico (ET, elc) que el térmico (ET, trm), con un aumento del consumo eléctrico (5.388 ktep en 2010), frente a una disminución del consumo térmico (2.627 ktep en 2010) en el periodo 2004-2010.



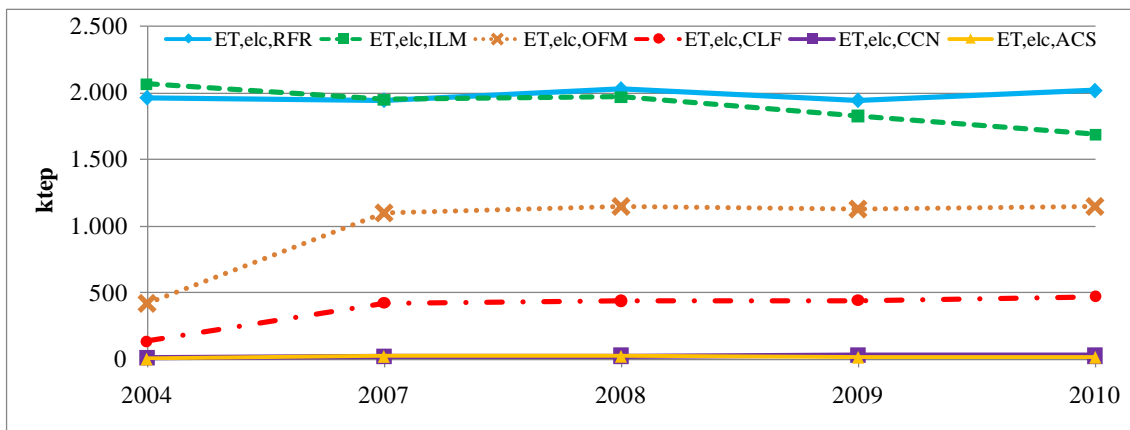
**Imagen 13.21:** Evolución de consumos en el sector terciario. Fuente MIEyT/IDAE

Dentro del consumo térmico es el servicio de calefacción (ET, trm, CLF) el mayor consumidor, frente al ACS (ET, trm, ACS) y cocinas (ET, trm, CCN) que son despreciables frente a este.



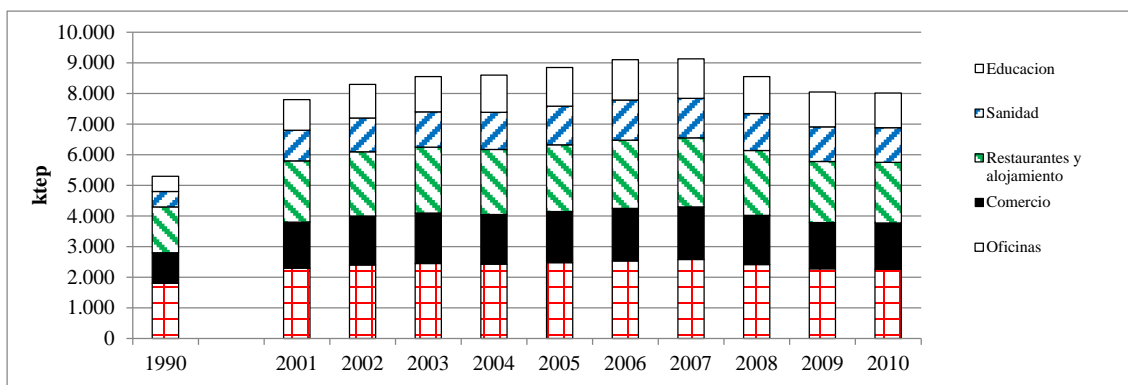
**Imagen 13.22:** Evolución de consumos térmicos en el sector terciario. Fuente MIEyT/IDAE

Dentro del consumo eléctrico, los mayores consumidores de energía son la iluminación y la refrigeración, seguidos de la equitación ofimática y muy por debajo el consumo de energía eléctrica para calefacción, cocinas y ACS



**Imagen 13.23:** Evolución de consumos eléctricos en el sector terciario. Fuente MIEyT/IDAE

Dentro de los tipos de edificios del sector terciario son los edificios de uso oficinas los que tiene un mayor peso en el consumo de energía (28% en 2010), seguido por los edificios destinados a restaurantes y alojamientos (25% en 2010), los comercios (19% en 2010), edificios sanitarios (14% en 2010) y educativos (14% en 2010).



**Imagen 13.24:** Consumo en el sector terciario (ktep). Fuente IDAE y MIEyT

De los gráficos en términos absolutos de energía (ktep) anteriores se pueden obtener los valores porcentuales de los consumos de cada servicio. Se recogen en la siguiente tabla los valores porcentuales en el periodo de estudio 2004-2010.

**Tabla 13.6:** % energía consumida por año y servicio, diferenciando energía térmica y eléctrica<sup>158</sup>

	SERVICIO	2004	2007	2008	2009	2010
	<b>VIVIENDAS</b>	% V, trm, CLF	58,2	57,8	57,8	57,1
% V, trm, ACS		34	35,4	34,3	34,3	35,2
% V, trm, CCN		7,8	6,8	7,9	8,6	7,8
<b>% Total</b>		<b>68,5</b>	<b>68,5</b>	<b>68,5</b>	<b>68,5</b>	<b>68,5</b>
% V, elc, RFR		1,7	2,6	2,8	3,1	3,3
% V, elc, CLF		28,4	26,1	25,9	25,6	25,4
% V, elc, ACS		10,8	11	8,8	9,8	9,4
% V, elc, ILM		12,3	12,3	12,8	12,4	12,4
% V, elc, ELC		40,5	41	42,6	41,7	41,8
% V, elc, CCN		6,3	7	7,1	7,4	7,7
<b>Total</b>		<b>31,5</b>	<b>31,5</b>	<b>31,5</b>	<b>31,5</b>	<b>31,5</b>
<b>TERCIARIO</b>	SERVICIO	2004	2007	2008	2009	2010
	% T, trm, CLF	85,5	84,6	84,4	83,6	83,4
	% T, trm, ACS	9,1	10	10,3	10,1	10,3
	% T, trm, CCN	5,4	5,4	5,3	6,3	6,3
	<b>% Total</b>	<b>46,3</b>	<b>40,0</b>	<b>34,0</b>	<b>32,7</b>	<b>32,8</b>
	% T, elc, RFR	42,5	35,5	35,9	35,9	37,4
	% T, elc, CLF	3	7,8	7,8	8,3	8,8
	% T, elc, ACS	0,2	0,5	0,5	0,4	0,4
	% T, elc, ILM	44,7	35,6	34,9	33,8	31,4
	% T, elc, CCN	0,4	0,5	0,5	0,6	0,6
	% T, elc, OFM	9,2	20,1	20,4	21	21,4
<b>% Total</b>	<b>53,7</b>	<b>60,0</b>	<b>66,0</b>	<b>67,3</b>	<b>67,2</b>	

En términos de calefacción, el sector viviendas ha disminuido su porcentaje de uso tanto en energía eléctrica como térmica en los últimos años. Sin embargo, en el sector terciario esta caída en el consumo sólo se produce en la energía térmica, habiendo aumentado el porcentaje de uso de consumo eléctrico relativo a calefacción casi un 6% en el periodo 2004-2010.

<sup>158</sup> Realmente en los Planes de Acción lo que se aportan son estos valores porcentuales. Y son estos los que se utilizaron para, a partir de los valores absolutos de consumo energético, conseguir los consumos energéticos de cada servicio en las gráficas anteriores.

La refrigeración en las viviendas ha aumentado su uso hasta casi duplicarse, consecuencia de su mayor penetración. Sin embargo, en el sector terciario, el uso de refrigeración ha experimentado una caída del 5% en su porcentaje de uso, pudiendo ser consecuencia de una mejora tecnológica, la necesidad de optimización de costes y las medidas de eficiencia energética puestas en marcha.

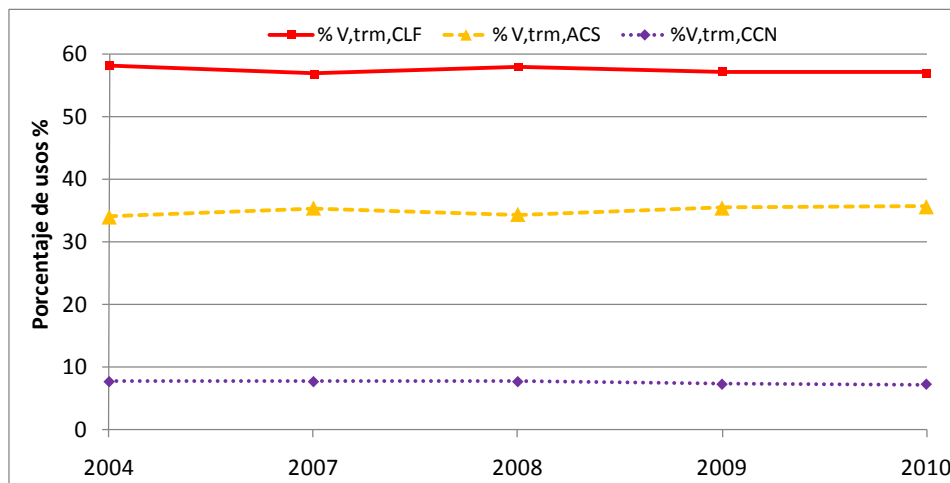
El porcentaje de uso del agua caliente sanitaria en el ámbito doméstico ha aumentado en el caso de producirse térmicamente (1,7%). En el sector terciario el uso eléctrico se ha duplicado y el térmico ha mostrado un incremento del 1,2%.

Se puede observar cómo el porcentaje de uso de iluminación interior en las viviendas se mantiene prácticamente constante, pero es el del sector terciario el que disminuye su uso de una manera considerable (-13,3%), contribuyendo indirectamente a la generación de ahorros en iluminación interior.

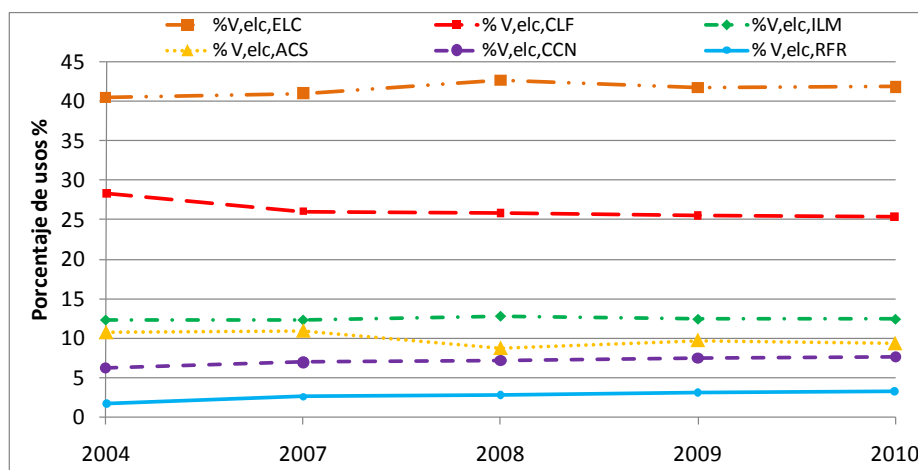
Se observa cómo en los edificios terciarios se ha incrementado notablemente su equipamiento ofimático en el periodo estudiado, pasando de representar un 9,2% del consumo en el sector en 2004, a un 21,4% en el 2010.

Este fenómeno también se observa en el sector viviendas, donde ha habido un incremento de electrodomésticos gama marrón.

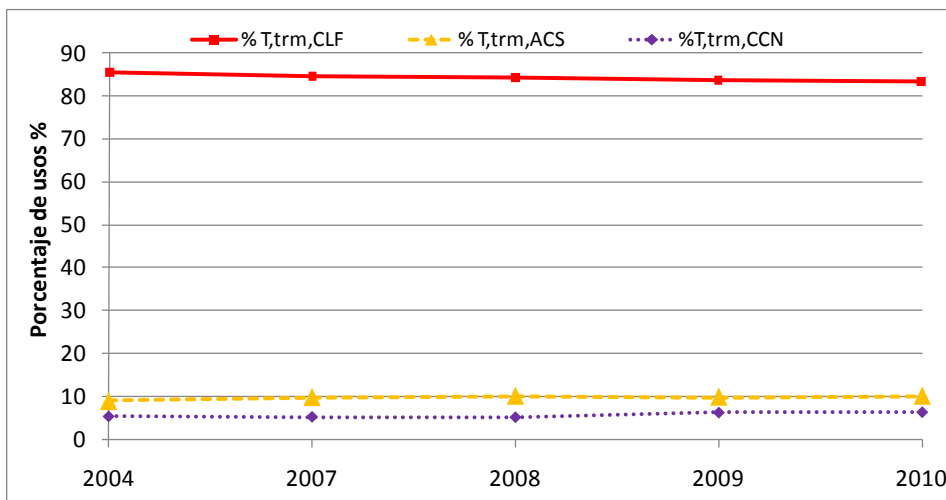
Por otro lado, los electrodomésticos de gama blanca han disminuido su porcentaje de uso, mientras sólo en algunos casos ha aumentado la penetración, lo que ha conseguido consecuentemente ahorros energéticos.



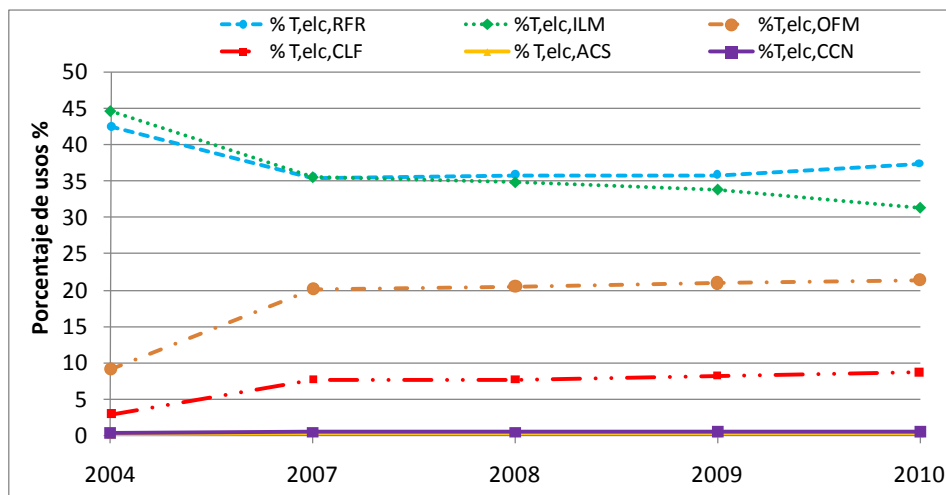
**Imagen 13.25:** Evolución del porcentaje de consumo térmico en viviendas de 2004-2010



**Imagen 13.26:** Evolución del porcentaje de consumo eléctrico en viviendas de 2004-2010



**Imagen 13.27:** Evolución del porcentaje de consumo térmico en edificios terciarios de 2004-2010



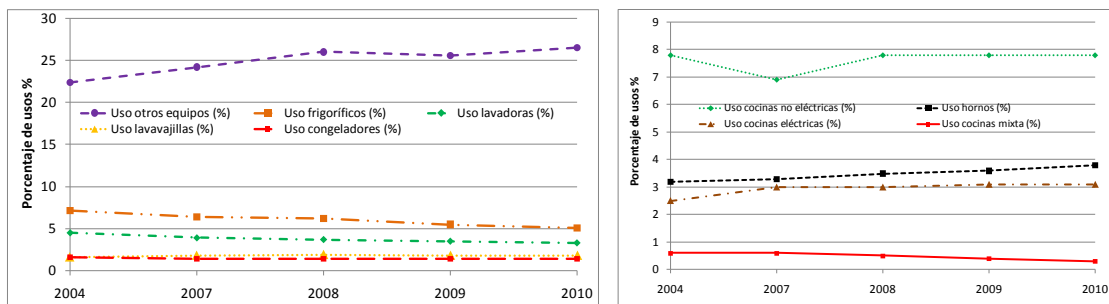
**Imagen 13.28:** Evolución del porcentaje de consumo eléctrico en edificios terciarios de 2004-2010

Finalmente y para el caso de viviendas existe un grupo de electrodomésticos (congeladores, lavavajillas y hornos) cuyo porcentaje de uso se ha mantenido prácticamente constante a lo largo del período estudiado. A pesar de su creciente penetración en los hogares, ésta se compensa con una mejora tecnológica de la eficiencia energética.

**Tabla 13.7:** Variables de actividad utilizadas en el cálculo de ahorros de los indicadores P en la medida Renovación de electrodomésticos en el periodo 2004-2010.

EQUIPAMIENTO	2004	2007	2008	2009	2010
Uso frigoríficos (%)	7,1	6,4	6,2	5,5	5,1
Uso congeladores (%)	1,6	1,4	1,4	1,4	1,4
Uso lavadoras (%)	4,5	3,9	3,7	3,5	3,3
Uso lavavajillas (%)	1,6	1,8	1,9	1,8	1,8
Uso hornos (%)	3,2	3,3	3,5	3,6	3,8
Uso cocinas mixta (%)	0,6	0,6	0,5	0,4	0,3
Uso cocinas eléctricas (%)	2,5	3	3	3,1	3,1
Uso otros equipos (%)	22,4	24,2	26	25,6	26,5
Uso cocinas no eléctricas (%)	7,8	6,9	7,8	7,8	7,8
<b>Total consumo eléctrico equipamiento (%)</b>	<b>46,7</b>	<b>47,9</b>	<b>49,6</b>	<b>48,8</b>	<b>49</b>

Por otro lado, los frigoríficos y las lavadoras han disminuido su porcentaje de uso con respecto al total de consumo eléctrico en los hogares. Esta tipología de electrodomésticos está alcanzando la saturación del mercado por lo que la disminución en el porcentaje de uso viene provocada por la mejora de la eficiencia en los equipos. Su evolución en ventas está ligada fundamentalmente al incremento del número de viviendas, al contrario que el equipamiento audiovisual y ofimático que ha crecido considerablemente en los últimos años.



**Imagen 13.29:** Evolución uso electrodomésticos en sector doméstico en el periodo 2004-2010

### 13.2.3. Evolución de los ratios de energía

Vistas la evolución de las variables de actividad y los consumos de energía se pueden obtener ahora los ratios de energía correspondientes. Se analizan en este apartado todos los ratios de energía que se pueden obtener a partir de los anteriores datos y los ahorros conseguidos.

En primer lugar se puede ver la evolución del consumo de energía en viviendas por número de viviendas, térmico ( $M1_1$ ) para los servicios de calefacción, ACS y eléctrico ( $M2_1$ ) para los servicios de calefacción, ACS y refrigeración.

En el caso de los indicadores referentes a calefacción y a refrigeración se debe realizar una corrección por el clima, mediante el cociente entre la media de los grados-días de calefacción de los últimos 25 años con los grados-día de calefacción del año de cálculo.

$M1_{11} = \left( \frac{E^{V,term}}{nV} \right) \cdot \%_{CLF}^{V,term} \cdot \left( \frac{GD_{CLF}^{25}}{GD_{CLF}} \right)$	<p><i>donde</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· <math>E^{V,term}</math> <i>Consumo termico en viviendas</i></li> <li>· <math>nV</math> <i>Numero de viviendas ocupadas</i></li> <li>· <math>\%_{CLF}^{V,term}</math> <i>% consumo termico domestico destinado a calefaccion</i></li> <li>· <math>GD_{CLF}^{25}</math> <i>Mediade <math>GD_{CLF}</math> de los ultimos 25 años</i></li> <li>· <math>GD_{CLF}</math> <i>Gradosdia de calefaccion</i></li> </ul>
$M1_{12} = \left( \frac{E^{V,term}}{nV} \right) \cdot \%_{ACS}^{V,term}$	<p><i>donde</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· <math>E^{V,term}</math> <i>Consumo termico en viviendas</i></li> <li>· <math>nV</math> <i>Numero de viviendas ocupadas</i></li> <li>· <math>\%_{ACS}^{V,term}</math> <i>% consumo termico domestico destinado a ACS</i></li> </ul>
$M2_{11} = \left( \frac{E^{V,elec}}{nV} \right) \cdot \%_{CLF}^{V,elec} \cdot \left( \frac{GD_{CLF}^{25}}{GD_{CLF}} \right)$	<p><i>donde</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· <math>E^{V,elec}</math> <i>Consumo electrico en viviendas</i></li> <li>· <math>nV</math> <i>Numero de viviendas ocupadas</i></li> <li>· <math>\%_{CLF}^{V,elec}</math> <i>% consumo electrico domestico destinado a calefaccion</i></li> <li>· <math>GD_{CLF}^{25}</math> <i>Mediade <math>GD_{CLF}</math> de los ultimos 25 años</i></li> <li>· <math>GD_{CLF}</math> <i>Gradosdia de calefaccion</i></li> </ul>
$M2_{12} = \left( \frac{E^{V,elec}}{nV} \right) \cdot \%_{REFR}^{V,elec} \cdot \left( \frac{GD_{REFR}^{25}}{GD_{REFR}} \right)$	<p><i>donde</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· <math>E^{V,elec}</math> <i>Consumo electrico en viviendas</i></li> <li>· <math>nV</math> <i>Numero de viviendas ocupadas</i></li> <li>· <math>\%_{REFR}^{V,elec}</math> <i>% consumo electrico domestico destinado a refrigeracion</i></li> <li>· <math>GD_{REFR}^{25}</math> <i>Mediade <math>GD_{REFR}</math> de los ultimos 25 años</i></li> <li>· <math>GD_{REFR}</math> <i>Gradosdia de refrigeracion</i></li> </ul>
$M2_{13} = \left( \frac{E^{V,elec}}{nV} \right) \cdot \%_{ACS}^{V,elec}$	<p><i>donde</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· <math>E^{V,elec}</math> <i>Consumo electrico en viviendas</i></li> <li>· <math>nV</math> <i>Numero de viviendas ocupadas</i></li> <li>· <math>\%_{ACS}^{V,elec}</math> <i>% consumo electrico domestico destinado a ACS</i></li> </ul>
<p><b>Nota:</b> Todos los valores están recogidos en los puntos 13.2. y 13.2.2 consumos de energía</p>	

Se analiza ahora la evolución del consumo de energía en edificios terciarios por número de empleados, térmico (M3<sub>1</sub>) para los servicios de calefacción, ACS y eléctrico (M4<sub>1</sub>) para los servicios de calefacción, ACS y refrigeración.

En el caso de los indicadores referentes a calefacción y a refrigeración se debe realizar una corrección por el clima, mediante el cociente entre la media de los grados-días de calefacción de los últimos 25 años con los grados-día de calefacción del año de cálculo.



$M_{3_{11}} = \left( \frac{E^{T, trm}}{nE} \right) \cdot \%_{CLF}^{T, trm} \cdot \left( \frac{GD_{CLF}^{25}}{GD_{CLF}} \right)$	<p>donde</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· <math>E^{T, trm}</math> Consumo termico en el sector terciario</li> <li>· <math>nE</math> Numero de empleados a tiempo completo</li> <li>· <math>\%_{CLF}^{T, trm}</math> % consumo termico terciario destinado a calefaccion</li> <li>· <math>GD_{CLF}^{25}</math> Mediate <math>GD_{CLF}</math> de los ultimos 25 años</li> <li>· <math>GD_{CLF}</math> Gradosdia de calefaccion</li> </ul>
$M_{3_{12}} = \left( \frac{E^{T, trm}}{nE} \right) \cdot \%_{ACS}^{T, trm}$	<p>donde</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· <math>E^{T, trm}</math> Consumo termico en el sector terciario</li> <li>· <math>nE</math> Numero de empleados a tiempo completo</li> <li>· <math>\%_{ACS}^{T, trm}</math> % consumo termico terciario destinado a ACS</li> </ul>
$M_{4_{11}} = \left( \frac{E^{T, elc}}{nE} \right) \cdot \%_{CLF}^{T, elc} \cdot \left( \frac{GD_{CLF}^{25}}{GD_{CLF}} \right)$	<p>donde</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· <math>E^{T, elc}</math> Consumo electrico en el sector terciario</li> <li>· <math>nE</math> Numero de empleados a tiempo completo</li> <li>· <math>\%_{CLF}^{T, elc}</math> % consumo electrico terciario destinado a calefaccion</li> <li>· <math>GD_{CLF}^{25}</math> Mediate <math>GD_{CLF}</math> de los ultimos 25 años</li> <li>· <math>GD_{CLF}</math> Gradosdia de calefaccion</li> </ul>
$M_{4_{12}} = \left( \frac{E^{T, elc}}{nE} \right) \cdot \%_{RFR}^{T, elc} \cdot \left( \frac{GD_{RFR}^{25}}{GD_{RFR}} \right)$	<p>donde</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· <math>E^{T, elc}</math> Consumo electrico en el sector terciario</li> <li>· <math>nE</math> Numero de empleados a tiempo completo</li> <li>· <math>\%_{RFR}^{T, elc}</math> % consumo electrico terciario destinado a refrigeracion</li> <li>· <math>GD_{RFR}^{25}</math> Mediate <math>GD_{RFR}</math> de los ultimos 25 años</li> <li>· <math>GD_{RFR}</math> Gradosdia de refrigeracion</li> </ul>
$M_{4_{13}} = \left( \frac{E^{T, elc}}{nE} \right) \cdot \%_{ACS}^{T, elc}$	<p>donde</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· <math>E^{T, elc}</math> Consumo electrico en el sector terciario</li> <li>· <math>nE</math> Numero de empleados a tiempo completo</li> <li>· <math>\%_{ACS}^{T, elc}</math> % consumo electrico terciario destinado a ACS</li> </ul>

**Nota:** Todos los valores están recogidos en los puntos 13.2. y 13.2.2 consumos de energía

Utilizando las anteriores fórmulas se pueden obtener todos los indicadores M para la edificación como muestra la tabla 13.8 (se ha utilizado la unidad energética tep) y se pueden representar para visualizar su progresión (unidad utilizada kWh).

**Tabla 13.8:** Evolución indicadores M del uso envolvente e instalaciones térmicas 2004 a 2010.

Indicador	2004	2007	2008	2009	2010	Unidad	Servicio	Energía
M1 <sub>11</sub>	0,360	0,361	0,338	0,335	0,343	tep/vivienda	CLF	trm VIVIENDA
M1 <sub>12</sub>	0,252	0,251	0,227	0,210	0,228	tep/vivienda	ACS	
<b>M1<sub>1</sub></b>	<b>0,612</b>	<b>0,612</b>	<b>0,566</b>	<b>0,545</b>	<b>0,571</b>	<b>tep/vivienda</b>	<b>CLF+ACS</b>	
M2 <sub>11</sub>	0,081	0,076	0,070	0,069	0,070	tep/vivienda	CLF	elc VIVIENDA
M2 <sub>12</sub>	0,006	0,011	0,008	0,009	0,010	tep/vivienda	RFR	
M2 <sub>13</sub>	0,037	0,036	0,027	0,028	0,028	tep/vivienda	ACS	
<b>M2<sub>1</sub></b>	<b>0,123</b>	<b>0,123</b>	<b>0,105</b>	<b>0,105</b>	<b>0,108</b>	<b>tep/vivienda</b>	<b>CLF+RFR+ACS</b>	
M3 <sub>11</sub>	0,247	0,206	0,157	0,157	0,152	tep/empleado	CLF	trm TERCIARIO
M3 <sub>12</sub>	0,031	0,027	0,022	0,020	0,020	tep/empleado	ACS	
<b>M3<sub>1</sub></b>	<b>0,278</b>	<b>0,234</b>	<b>0,178</b>	<b>0,177</b>	<b>0,172</b>	<b>tep/empleado</b>	<b>CLF+ACS</b>	
M4 <sub>11</sub>	0,010	0,028	0,028	0,032	0,033	tep/empleado	CLF	elc TERCIARIO
M4 <sub>12</sub>	0,168	0,190	0,145	0,144	0,149	tep/empleado	RFR	
M4 <sub>13</sub>	0,001	0,002	0,002	0,002	0,002	tep/empleado	ACS	
<b>M4<sub>1</sub></b>	<b>0,179</b>	<b>0,220</b>	<b>0,175</b>	<b>0,178</b>	<b>0,184</b>	<b>tep/empleado</b>	<b>CLF+RFR+ACS</b>	

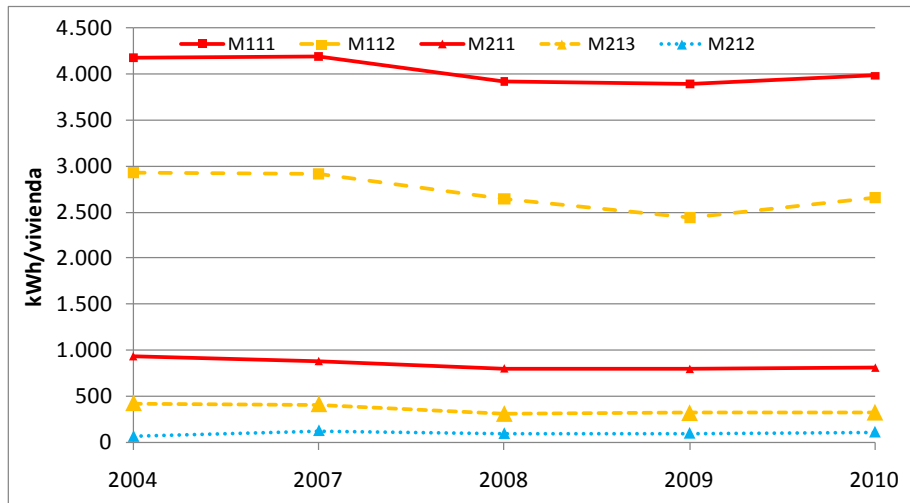


Imagen 13.30: Evolución de los indicadores M en viviendas

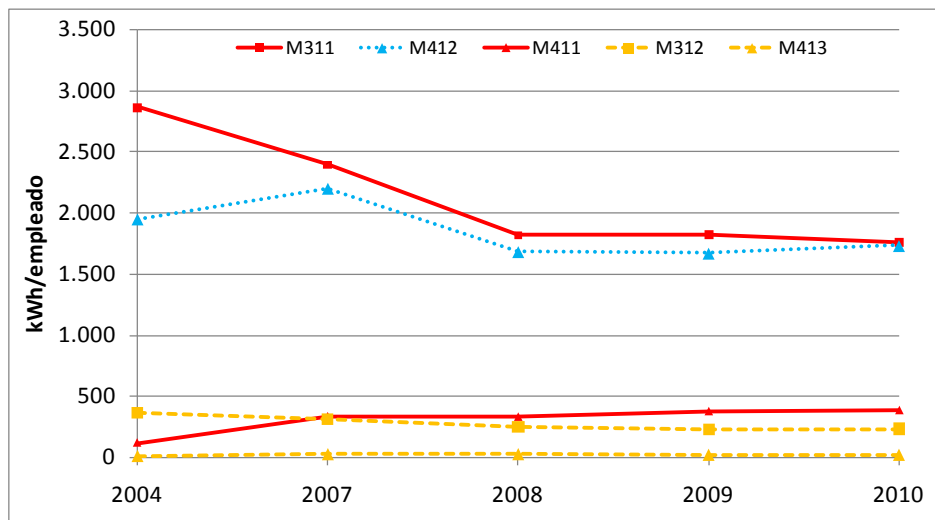


Imagen 13.31: Evolución de los indicadores M en edificios terciarios.

Los indicadores M1 y M2 no son utilizados para el ahorro de energía en viviendas (en cambio los indicadores M3 y M4 indican los ahorros energéticos por empleado en los edificios terciarios) y son los indicadores P1, P2 (expresados como los consumos de energía para calefacción y refrigeración, respectivamente, por metro cuadrado construido en edificios de uso residencial) y P3 (definido como el consumo de energía por habitante para agua caliente sanitaria) los que ponen de manifiesto los ahorros (o *desahorros*) por disminución (o aumento) de los consumos por m<sup>2</sup> y habitantes respectivamente entre 2004 y 2010 en viviendas.

El indicador P1 propuesto, consumo energético en viviendas unitario por m<sup>2</sup> en la actividad de calefacción se calcula como sigue (corregido por el efecto del clima):

$$P1 = \left( \frac{E^{V,elec} \cdot \%_{CLF}^{V,elec} + E^{V,term} \cdot \%_{CLF}^{V,term}}{m_{V,ocp}^2} \right) \cdot \left( \frac{GD_{CLF}^{25}}{GD_{CLF}} \right)$$

donde

- $E^{V,elec}$  Consumo eléctrico en viviendas
- $\%_{CLF}^{V,elec}$  % del  $E^{V,elec}$  destinado a calefacción
- $E^{V,term}$  Consumo térmico en hogares
- $\%_{CLF}^{V,term}$  % del  $E^{V,term}$  destinado a calefacción
- $m_{V,ocp}^2$  superficie de las viviendas permanentemente ocupadas
- $GD_{CLF}^{25}$  Mediana  $GD_{CLF}$  de los últimos 25 años
- $GD_{CLF}$  Grados día de calefacción

13-2

El indicador P2 hace referencia al consumo energético en viviendas unitario por m<sup>2</sup> en la actividad de refrigeración (corregido por el efecto del clima):

$$P2 = \left( \frac{E^{V,elec} \cdot \%_{RFR}^{V,elec}}{m_{V,ocp}^2} \right) \cdot \left( \frac{GD_{RFR}^{25}}{GD_{RFR}} \right)$$

13-3

donde

- $E^{V,elec}$  Consumo eléctrico en viviendas
- $\%_{RFR}^{V,elec}$  % del  $E^{Hel}$  destinado a refrigeración
- $m_{V,ocp}^2$  m<sup>2</sup> de superficie de las viviendas permanentemente ocupadas
- $GD_{RFR}^{25}$  Mediana de  $GD_{RFR}$  de los últimos 25 años
- $GD_{RFR}$  Grados día de refrigeración

La expresión utilizada para el cálculo de este indicador es muy similar a la que se ha utilizado en el caso del indicador anterior P1 salvo que los sistemas de refrigeración existentes en los hogares consumen exclusivamente energía eléctrica.

El indicador P3 hace referencia al consumo energético en viviendas unitario por habitante en agua caliente sanitaria, según la expresión:

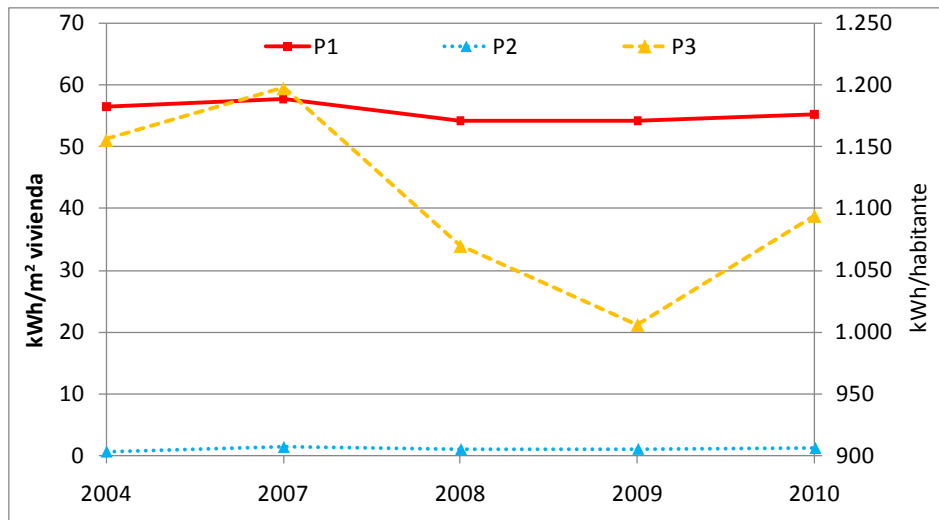
$$P3 = \left( \frac{E^{V,elec} \cdot \%_{ACS}^{V,elct} + E^{V,term} \cdot \%_{ACS}^{V,term}}{n_{hbt}} \right)$$

13-4

donde

- $E^{V,elec}$  Consumo eléctrico en viviendas
- $\%_{ACS}^{V,elct}$  % del  $E^{V,elec}$  destinado a ACS
- $E^{V,term}$  Consumo térmico en viviendas
- $\%_{ACS}^{V,term}$  % del  $E^{V,term}$  destinado a ACS
- $n_{hbt}$  Población

En este caso la variable de actividad es el número de habitantes.



**Imagen 13.32:** Evolución de los indicadores P en viviendas

Se analiza ahora la evolución del consumo de energía eléctrica de iluminación en viviendas por número de viviendas M2<sub>2</sub> y M4<sub>2</sub> consumo de energía eléctrica de iluminación en edificios terciarios por empleado a tiempo completo que se obtiene mediante las siguientes expresiones:

$$M2_2 = P5 = \left( \frac{E^{V,elec}}{n_{V,ocp}} \right) \cdot \%_{ILM}^{V,elec}$$

donde

- $E^{V,elec}$  Consumo eléctrico en viviendas
- $n_{V,ocp}$  Número de viviendas ocupadas
- $\%_{ILM}^{V,elec}$  % consumo eléctrico doméstico destinado a iluminación

$$M4_2 = \left( \frac{E^{T,elec}}{n_{emp}} \right) \cdot \%_{ILM}^{T,elec}$$

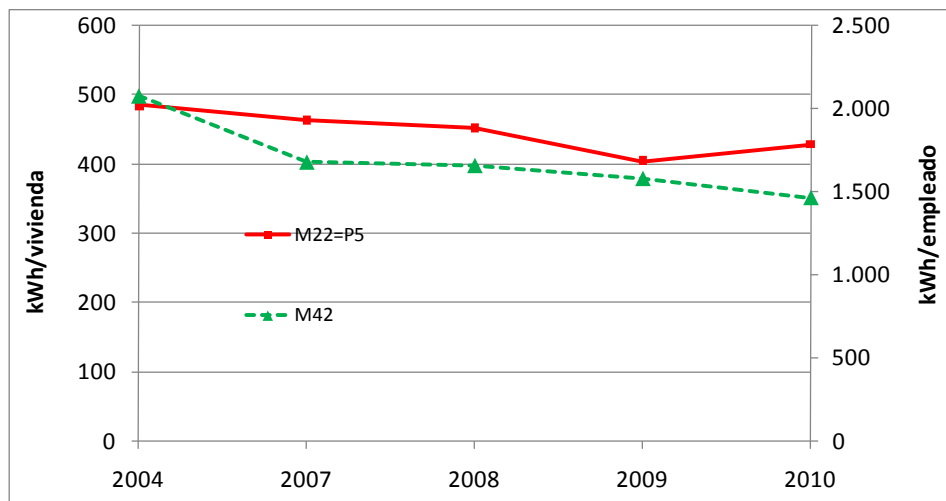
donde

- $E^{T,elec}$  Consumo eléctrico en el sector terciario
- $n_{emp}$  Número de empleados a tiempo completo en el sector terciario
- $\%_{ILM}^{T,elec}$  % consumo eléctrico en el sector terciario destinado a iluminación

**Nota:** Todos los valores están recogidos en los puntos 13.2. y 13.2.2 consumos de energía

**Tabla 13.9:** Evolución indicadores M del servicio de iluminación 2004 a 2010

Indicador	2004	2007	2008	2009	2010	Unidad
M2 <sub>2</sub>	0,042	0,040	0,039	0,035	0,037	tep/vivienda
M4 <sub>2</sub>	0,179	0,145	0,143	0,136	0,126	tep/empleado



**Imagen 13.33:** Evolución indicadores M para el uso iluminación de 2004 a 2010

Se analiza ahora la evolución del consumo en viviendas de energía eléctrica en los electrodomésticos M2<sub>4</sub>, en cocinas M2<sub>3</sub> y térmico en cocinas M1<sub>3</sub> por número de viviendas que se obtiene mediante las siguientes expresiones:

$M1_3 = \left( \frac{E^{V,irm}}{n_{V,ocp}} \right) \cdot \%_{CCN}^{V,irm}$	<p>donde</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· <math>E^{V,irm}</math> Consumo termico en hogares</li> <li>· <math>n_{V,ocp}</math> Nuemor de viviendas ocupadas</li> <li>· <math>\%_{CCN}^{V,irm}</math> % consumo termico domestico destinado a cocinas y hornos</li> </ul>
$M2_3 = \left( \frac{E^{V,elc}}{n_{V,ocp}} \right) \cdot \%_{CCN}^{V,elc}$	<p>donde</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· <math>E^{V,elc}</math> Consumo electrico en viviendas</li> <li>· <math>n_{V,ocp}</math> Nuemor de viviendas ocupadas</li> <li>· <math>\%_{CCN}^{V,elc}</math> % consumo electrico domestico destinado a cocinas y hornos</li> </ul>
$M2_4 = \left( \frac{E^{V,elc}}{n_{V,ocp}} \right) \cdot \%_{ELC}^{V,elc}$	<p>donde</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· <math>E^{V,elc}</math> Consumo termico en hogares</li> <li>· <math>n_{V,ocp}</math> Nuemor de viviendas ocupadas</li> <li>· <math>\%_{ELC}^{V,elc}</math> % consumo electrico domestico destinado a electrodomesti cos yotrosequipos</li> </ul>

**Nota:** Todos los valores están recogidos en los puntos 13.2. y 13.2.2 consumos de energía

En el sector terciario el indicador M3<sub>3</sub>consumo térmico por empleado a tiempo completo de cocinas, M4<sub>3</sub>consumo eléctrico en cocinas por empleado a tiempo completo y M4<sub>4</sub>consumo eléctrico en ofimática por empleado a tiempo completo se obtienen de las siguientes expresiones

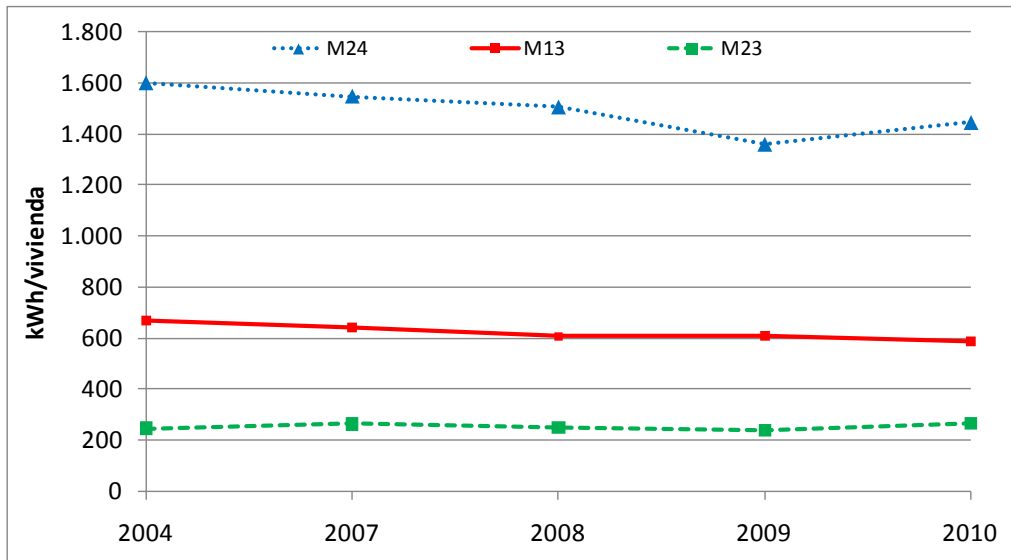
$M3_3 = \left( \frac{E^{T,irm}}{n_{emp}} \right) \cdot \%_{CCN}^{T,irm}$	<p>donde</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· <math>E^{T,irm}</math> Consumo termico en el sector terciario</li> <li>· <math>n_{emp}</math> Numero de empleados a tiempo completo</li> <li>· <math>\%_{CCN}^{T,irm}</math> % consumo termico terciario destinado a cocinas y hornos</li> </ul>
$M4_3 = \left( \frac{E^{T,elc}}{n_{emp}} \right) \cdot \%_{CCN}^{T,elc}$	<p>donde</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· <math>E^{T,elc}</math> Consumo electrico en sector terciario</li> <li>· <math>n_{emp}</math> Nuemor de empleados a tiempo completo</li> <li>· <math>\%_{CCN}^{T,elc}</math> % consumo electrico terciario destinado a cocinas y hornos</li> </ul>
$M4_4 = \left( \frac{E^{T,elc}}{n_{emp}} \right) \cdot \%_{OFM}^{T,elc}$	<p>donde</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· <math>E^{T,elc}</math> Consumo electrico en sector terciario</li> <li>· <math>n_{emp}</math> Nuemor de empleados a tiempo completo</li> <li>· <math>\%_{OFM}^{T,elc}</math> % consumo electrico terciario destinado ofimatica</li> </ul>

**Nota:** Todos los valores están recogidos en los puntos 13.2. y 13.2.2 consumos de energía

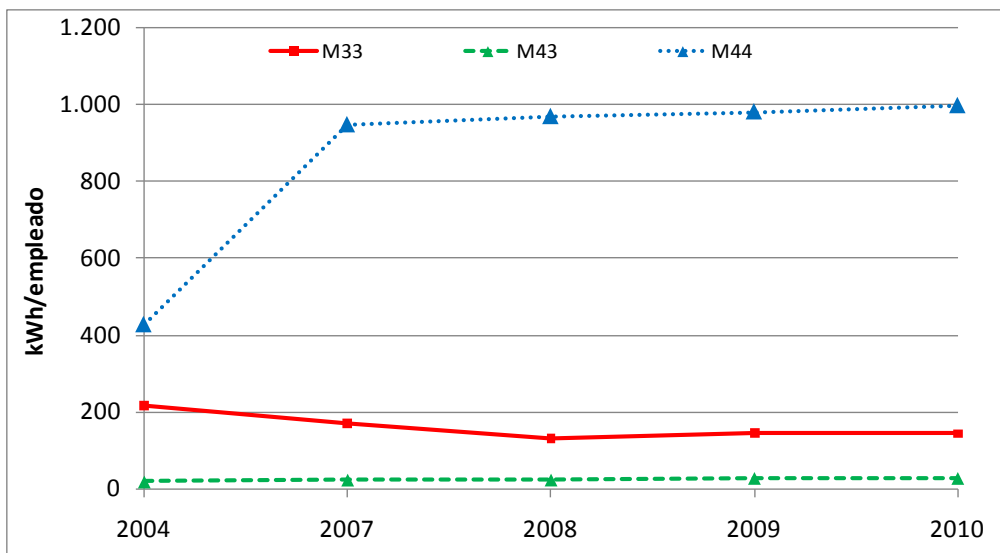
Utilizando las anteriores expresiones se puede calcular la variación del consumo destinado a cocinas en relación con el número de viviendas ocupadas o por empleado a tiempo completo e igual que en casos anteriores permite estimar cuál ha sido la mejora en términos unitarios de la intensidad energética tanto por vivienda como por trabajador.

**Tabla 13.10:** Evolución indicadores M del uso equipamiento en el periodo 2004-2010

Indicador	2004	2007	2008	2009	2010	unidad
M1 <sub>3</sub>	0,058	0,055	0,052	0,053	0,051	tep/vivienda
M2 <sub>3</sub>	0,021	0,023	0,022	0,021	0,023	tep/vivienda
M3 <sub>3</sub>	0,019	0,015	0,011	0,012	0,012	tep/empleado
M4 <sub>3</sub>	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	tep/empleado
M2 <sub>4</sub>	0,138	0,133	0,130	0,117	0,125	tep/vivienda
M4 <sub>4</sub>	0,037	0,082	0,084	0,085	0,086	tep/empleado



**Imagen 13.34:** Evolución de los indicadores M en equipamiento en el periodo 2004-2010 en viviendas



**Imagen 13.35:** Evolución de los indicadores M en equipamiento en edificios terciarios

Como se puede observar de manera general el consumo unitario de los electrodomésticos en España a lo largo de los últimos años ha ido evolucionando hacia una mayor eficiencia consumiendo cada vez una menor cantidad de energía para ofrecer el mismo servicio.

Se analiza finalmente el indicador P4 caracterizado según la Comisión Europea como el consumo de los frigoríficos, congeladores, lavavajillas y lavadoras, electrodomésticos de gama blanca, entre sus existencias.

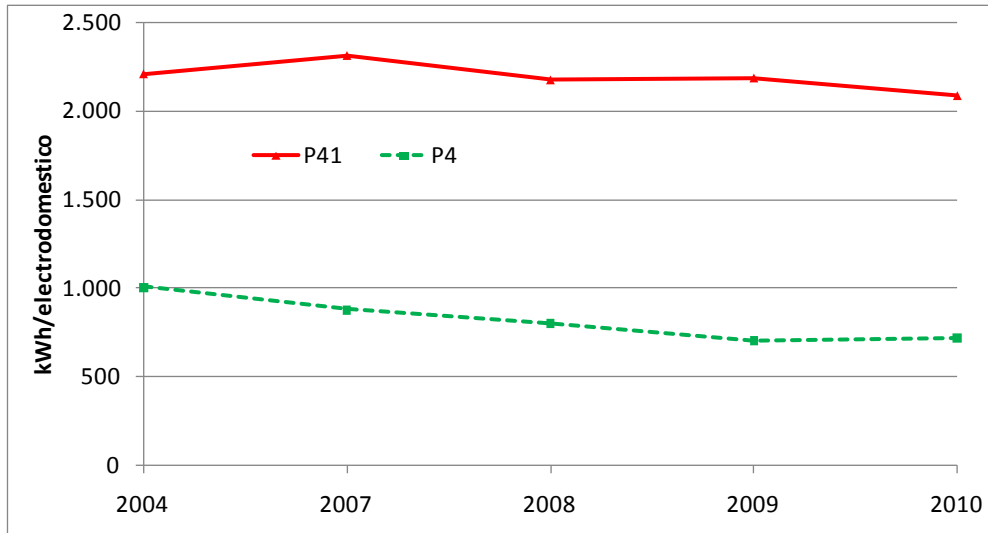
$$P4 = CUE^x \quad \left| \begin{array}{l} \text{donde} \\ \cdot CUE^x \text{ Consumo anual unitario de electricidad por tipo log ia de electrodomestico} \end{array} \right. \quad 13-5$$

El indicador P4 no contabiliza electrodomésticos de gama marrón, por lo que se ha considerado conveniente la creación de un nuevo indicador P para el cálculo de las cocinas y hornos P4<sub>1</sub>.

$$P4_1 = CUEccn^x \quad \left| \begin{array}{l} \text{donde} \\ \cdot CUEccn^x \text{ Consumo anual unitario de electricidad de cocinas y hornos} \end{array} \right. \quad 13-6$$

**Tabla 13.11:** Evolución indicadores M del uso equipamiento en el periodo 2004-2010

Indicador	2004	2007	2008	2009	2010	Unidad
P4	0,0869	0,0759	0,0692	0,0608	0,0622	tep/electrodoméstico
P4 <sub>1</sub>	0,1013	0,183	0,187	0,1887	0,1794	tep/cocina



**Imagen 13.36:** Evolución de los indicadores P4 en electrodomésticos en viviendas

### 13.2.4. Ahorros conseguidos en el año 2010

Se calculan aquí a partir de los ratios anteriores los ahorros conseguidos en el año 2010 referenciados con respecto al año 2007, lo que permite comparar con los objetivos de ahorro propuestos para los años 2016 y 2020 y con el resto de estados miembros que tomarán este año como base.

No obstante los ahorros en el año 2010 se han calculado también con base 2004, para comparar los ahorros conseguidos derivados del Plan de Acción 2005-2007, aprobado en el marco de la Estrategia de Ahorro y Eficiencia Energética en España 2004-2012 (E4) [2.1] como primer medida de activación de la eficiencia energética e integración de las energías renovables en nuestro país.

#### 13.2.4.1. Envoltente e instalaciones térmicas

El ahorro energético por viviendas (recordar que este no es la forma de calcular el ahorro energético propuesta por la Comisión Europea [2.15] para viviendas que propone hacerlo por m<sup>2</sup> de superficie útil) se obtiene utilizando el indicador M1, consumo térmico por vivienda, diferenciando el uso destinado a calefacción y agua caliente sanitaria y el indicador M2, consumo eléctrico por vivienda, diferenciando el uso destinado a calefacción, refrigeración y agua caliente sanitaria.

Para calcular el ahorro energético en edificios terciarios se hace mediante indicador M3, consumo térmico por empleado a tiempo completo, diferenciando el uso destinado a calefacción y agua caliente sanitaria y el indicado M4, consumo eléctrico por empleado a tiempo completo, diferenciando los servicios de calefacción, refrigeración y agua caliente sanitaria (esta sí es la forma de calcular el ahorro energético propuesta por la Comisión Europea [2.15] para edificios terciarios).

Por tanto los ahorros relativos en la envoltente e instalaciones térmicas, resultan de multiplicar la diferencia de los valores de estos indicadores para el año de referencia (2004 ó 2007) y el año de cálculo (2010) y el valor de la variable de actividad relativa al indicador.

A modo de ejemplo, para el indicador M1<sub>11</sub> sería:

$$Ahorros\ por\ M1_{11} = \left[ \left( \frac{E_{2004}^{V,irm}}{nV_{2004}} \right) \cdot \%_{CLF,2004}^{V,irm} - \left( \frac{E_{2010}^{V,irm}}{nV_{2010}} \right) \cdot \%_{CLF,2010}^{V,irm} \right] \cdot nV_{2010} \quad 13-7$$

Del sumatorio de los ahorros particulares asociados a cada uno de estos cuatro indicadores corregidos (M1+M2+M3+M4) se obtienen los ahorros globales producidos por la mejora de la envolvente e instalaciones térmicas de los edificios (ver tabla 13.12).

Para el cálculo de los ahorros energéticos en viviendas la Comisión Europea [2.15] indica que se debe utilizar los tres indicadores descendentes P (P1, P2 y P3) y sumando los resultados obtenidos por estos tres indicadores, se obtienen los ahorros<sup>159</sup> producidos por las viviendas para la medida de rehabilitación energética de la envolvente térmica y mejora de la eficiencia energética a través de la reforma de las instalaciones térmicas de los edificios.

A modo de ejemplo, para el indicador P<sub>1</sub> el ahorro se calcularía del siguiente modo:

$$Ahorros\ por\ P1 = \left[ \left( \frac{E_{2004}^{V,irm,CLF} + E_{2004}^{V,elec,CLF}}{m_{v,ocp,2004}^2} \cdot \frac{GD_{CLF,2004}^{25}}{GD_{CLF,2004}} \right) - \left( \frac{E_{2010}^{V,irm,CLF} + E_{2010}^{V,elec,CLF}}{m_{v,ocp,2010}^2} \cdot \frac{GD_{CLF,2010}^{25}}{GD_{CLF,2010}} \right) \right] \cdot m_{v,ocp,2010}^2$$

Del sumatorio de los ahorros particulares asociados a cada uno de estos indicadores (P1, P2 y P3) y los indicadores de los edificios terciario (M3 y M4) se obtienen los ahorros globales producidos por la mejora de la envolvente e instalaciones térmicas de los edificios.

**Tabla 13.12:** Ahorros de energía final envolvente más instalaciones térmicas en 2010 en ktep.

Indicador asociado	Ahorros de energía final 2010 ktep	Año base	
		2004	2007
M1 <sub>11</sub>	Ahorro en consumo térmico por hogar destinado a calefacción	296	318
M1 <sub>12</sub>	Ahorro en consumo térmico por hogar destinado a ACS	410	389
M2 <sub>11</sub>	Ahorro de consumo eléctrico por hogar destinado a calefacción	182	105
M2 <sub>12</sub>	Ahorro en consumo eléctrico por hogar destinado a refrigeración	-71	22
M2 <sub>13</sub>	Ahorro en consumo eléctrico por hogar destinado a ACS	155	138
	M1 <sub>1</sub> +M2 <sub>1</sub>	970	973
M3 <sub>11</sub>	Ahorro en consumo térmico por empleado destinado a calefacción	1276	734
M3 <sub>12</sub>	Ahorro en consumo térmico por empleado destinado a ACS	151	94
M4 <sub>11</sub>	Ahorro en consumo eléctrico por empleado destinado a calefacción	-305	-58
M4 <sub>12</sub>	Ahorro en consumo eléctrico por empleado destinado a refrigeración	252	543
M4 <sub>13</sub>	Ahorro en consumo eléctrico por empleado destinado a ACS	-11	6
	M3 <sub>1</sub> +M4 <sub>1</sub>	1364	1317
	M1 <sub>1</sub> +M2 <sub>1</sub> +M3 <sub>1</sub> +M4 <sub>1</sub>	2640	2051
P1	Ahorro en consumo eléctrico y térmico por m <sup>2</sup> destinado a calefacción	153,7	316,3
P2	Ahorro en consumo eléctrico y térmico por m <sup>2</sup> destinado a refrigeración	-76,6	16,9
P3	Ahorro en consumo eléctrico y térmico por m <sup>2</sup> destinado a ACS	196,9	365,4
<b>Total envolvente e instalaciones térmicas M3<sub>11</sub>+M3<sub>12</sub>+ M4<sub>11</sub>+M4<sub>12</sub>+M4<sub>13</sub>+P1+P2+P3</b>		<b>1.638</b>	<b>2.016</b>

Los indicadores descendentes M confirman que se han producido unos ahorros globales en los edificios de 2.640 ktep desde 2004 siendo el uso de calefacción el que más ahorros ha aportado (un 55% sobre el total) ya que la penetración de los sistemas de refrigeración (y por tanto el consumo asociado) se ha incrementado en las viviendas.

<sup>159</sup> Los que realmente presenta el IDAE.



Los indicadores descendentes P muestran unos ahorros en el ámbito doméstico de 274 ktep con respecto al año 2004. En el sector servicios los indicadores M muestran un ahorro de 1.364 ktep con respecto al año 2004.

Se puede llegar a cuantificar dentro del ahorro energético en el periodo de cálculo cuanto ha sido debido a Planes Renove<sup>160</sup> de envolvente térmica, Planes Renove de instalaciones térmicas, aplicación de la nueva legislación vigente (Código Técnico de la Edificación DB-HE y RD 47/2007) y Programas de Ayudas de IDAE a proyectos estratégicos<sup>161</sup>.

Para calcular el efecto derivado de los Planes Renove<sup>162</sup> y Programas de Ayudas se ha utilizado la información anual elaborada por las Comunidades Autónomas sobre los ahorros alcanzados por los proyectos objeto de ayuda pública. Así la medida del ahorro vendrá dada por el indicador ascendente siguiente:

$$BU_{ET} = \sum_{t=2004-2007}^{2010} Ah_{ET} \left| \begin{array}{l} \text{donde} \\ \cdot Ah_{ET} : \text{Ahorro anuales reportados por las CC.AA. en relación a los programas} \\ \text{de ayudas públicas para la rehabilitación energética de la envolvente térmica} \end{array} \right. \quad 13-8$$

$$BU_{IT} = \sum_{t=2004-2007}^{2010} Ah_{IT} \left| \begin{array}{l} \text{donde} \\ \cdot Ah_{IT} : \text{Ahorro anuales reportados por las CC.AA. en relación a los programas} \\ \text{de ayudas públicas para la rehabilitación energética de las instalaciones térmicas} \end{array} \right. \quad 13-9$$

$$BU_{PE} = \sum_{t=2004-2007}^{2010} Ah_{PE} \left| \begin{array}{l} \text{donde} \\ \cdot Ah_{PE} : \text{Ahorro anuales reportados por las CC.AA. en relación a los programas} \\ \text{de ayudas públicas para proyectos estratégicos} \end{array} \right. \quad 13-10$$

El Código Técnico de la Edificación [2.23] hace referencia, exclusivamente, a los edificios y viviendas de nueva construcción desde que entró en vigor. Por consiguiente, las mejoras sólo se han aplicado a los edificios de nueva construcción a partir de 2007, clasificando las viviendas entre la letra “A” para aquellas más eficientes y la “E” para aquellas que cumplen estrictamente con la normativa.

Los ahorros producidos en el periodo 2007-2010 se han calculado multiplicando para cada tipología de calificación energética (A, B, C y D) los metros cuadrados de hogares nuevos construidos por la diferencia entre su consumo (de calefacción y refrigeración) y aquel propio de una vivienda de referencia (E). Así, el ahorro se puede calcular siguiendo el indicador siguiente:

$$BU_{CTE} = \sum_{X=A}^D m_{V,nc,CLF-RFR}^2 \left( E_{CLF-RFR}^E - E_{CLF-RFR}^X \right) \left| \begin{array}{l} \text{donde} \\ \cdot m_{V,nc,CLF-RFR}^2 : m^2 \text{ en planta de hogares de nueva construcción que poseen sistema de} \\ \text{calefacción o refrigeración} \\ \cdot E_{CLF-RFR}^E : \text{Consumo de calefacción o refrigeración de una vivienda clase E} \\ \text{por unidad de superficie de planta} \\ \cdot E_{CLF-RFR}^X : \text{Consumo de calefacción o refrigeración de una vivienda clase A, B, C, o D} \\ \text{por unidad de superficie de planta} \end{array} \right. \quad 13-11$$

<sup>160</sup> Los Planes Renove han sido un mecanismo de ahorro desarrollado dentro de los convenios de colaboración firmados por IDAE y las Comunidades Autónomas. La situación política y económica actual de nuestro país presagia que en años venideros estas subvenciones se verán mermadas.

<sup>161</sup> Por ejemplo el programa GIT. Financiación a empresas habilitadas de Grandes Instalaciones Térmicas a partir de fuentes renovables en edificación por IDAE.

<sup>162</sup> Para el caso de los Planes Renove y Programas de Ayudas, tal y como propone la Comisión Europea [2.15], se supone que la vida útil de esta tipología de medidas es de 30 años para fachadas y ventanas, 25 años para cubiertas y entre 10 y 20 años para las instalaciones térmicas. Esto supera el periodo de análisis, por lo que los ahorros alcanzados en 2010 resultan del sumatorio de los ahorros reportados cada año desde 2004 ó 2007 en función de la base de cálculo elegida.

Los valores de consumo de calefacción y refrigeración por zona climática y tipo de calificación se recogen en el DTIE 7.03 y 7.06 [2.24 y 2.25] y los ahorros conseguidos<sup>163</sup> se reproducen en la tabla 13.13.

**Tabla 13.13:** Ahorro de viviendas de nueva construcción por calificación en ktep BU<sub>CTE</sub>

CALIFICACION	TIPO	SERVICIO	2007	2008	2009	2010
A	Unifamiliar	CLF	1,86	2,69	2,26	1,80
		RFR	0,09	0,13	0,10	0,08
		TOTAL	1,95	2,82	2,36	1,88
	Bloque	CLF	4,94	5,02	3,50	2,43
		RFR	0,21	0,21	0,14	0,10
		TOTAL	5,15	5,23	3,64	2,52
B	Unifamiliar	CLF	4,18	6,04	5,07	4,03
		RFR	0,19	0,27	0,22	0,17
		TOTAL	4,37	6,31	5,29	4,21
	Bloque	CLF	11,22	11,38	7,94	5,50
		RFR	0,45	0,45	0,30	0,21
		TOTAL	11,67	11,83	8,23	5,71
C	Unifamiliar	CLF	3,79	5,48	4,60	3,65
		RFR	0,16	0,23	0,19	0,15
		TOTAL	3,95	5,71	4,78	3,80
	Bloque	CLF	10,38	10,54	7,34	5,09
		RFR	0,39	0,39	0,26	0,18
		TOTAL	10,77	10,92	7,59	5,27
D	Unifamiliar	CLF	6,73	9,74	8,17	6,50
		RFR	0,21	0,30	0,24	0,19
		TOTAL	6,94	10,04	8,41	6,69
	Bloque	CLF	19,57	19,84	13,79	9,57
		RFR	0,48	0,48	0,32	0,22
		TOTAL	20,05	20,32	14,11	9,79
<b>Total Unifamiliar</b>			17,21	24,87	20,83	16,57
<b>Total Bloque</b>			47,64	48,31	33,58	23,29
<b>Total</b>			64,84	73,18	54,41	39,86
<b>TOTAL</b>						<b>232,29</b>

Se muestran en la tabla 13.14 los ahorros conseguidos y con qué medida utilizando las anteriores ecuaciones.

**Tabla 13.14:** Ahorros de energía final envolvente más instalaciones térmicas en 2010 en ktep.

Indicador asociado	Ahorros de energía final 2010 ktep	Año base	
		2004	2007
BU <sub>ET</sub>	Plan renove de envolvente térmica	22,3	17,6
BU <sub>IT</sub>	Plan renove de instalaciones térmicas	61,1	50
BU <sub>CTE</sub>	Código Técnico de la Edificación	232,3	167
BU <sub>PE</sub>	Programa de ayudas IDAE a Proyectos estratégicos	60,9	60,9

<sup>163</sup>Sólo se han contabilizado los ahorros producidos por las viviendas nuevas construidas a partir de 2007 (entrada en vigor de la normativa) en contra de lo que implica esta medida, ya que también obliga a las rehabilitaciones de edificios con una serie de características específicas de superficie y consumo. Tampoco se han considerado los edificios rehabilitados parcialmente, ya que la rehabilitación supone el cambio de parte de los conceptos incluidos en las medidas de envolvente e instalaciones térmicas.

Las iniciativas conocidas como “Planes Renove” han logrado unos ahorros de 22,3 ktep con respecto al año 2004 en renovaciones de envolvente (fachadas, cubiertas y ventanas) y de 61,1 ktep con respecto al año 2004 en renovaciones de instalaciones térmicas (calefacción, refrigeración y agua caliente sanitaria).

Adicionalmente, a través de indicadores ascendentes se han podido calcular los ahorros asociados al Código Técnico de la Edificación de 232,3 ktep con respecto al año 2007 así como los de los Programas de ayudas IDAE a Proyectos Estratégicos de 60,9 ktep con respecto al año 2004.

#### 13.2.4.2. Iluminación interior

Los ahorros obtenidos en iluminación resultan de los indicadores  $M2_2$  (viviendas) y  $M4_2$  (terciario) a través de la multiplicación entre la diferencia de los valores de estos indicadores para el año de referencia (2004 ó 2007) y el año de cálculo (2010). Por ejemplo para el indicador  $M2_2$  sería:

$$Ahorros\ por\ M2_2 = \left[ \left( \frac{E_{2004}^{V,elec}}{n_{V,ocp,2004}} \right) \cdot \%_{ILM,2004}^{V,elec} - \left( \frac{E_{2010}^{V,elec}}{n_{V,ocp,2010}} \right) \cdot \%_{ILM,2010}^{V,elec} \right] \cdot n_{V,ocp,2010} \quad 13-12$$

Del sumatorio de los ahorros particulares asociados a cada uno de estos dos indicadores corregidos ( $M2_2+M4_2$ ) se obtienen los ahorros globales producidos por la mejora de la iluminación de los edificios como muestra la tabla 13.15.

**Tabla 13.15:** Ahorro en consumo eléctrico en iluminación interior

Indicador energético	Ahorro	Año base	
		2004	2007
$M2_2$	Ahorro eléctrico por vivienda	85	53
$M4_2$	Ahorro eléctrico por empleado	712	249
	$M2_2+M4_2$	797	302
P5	Ahorro eléctrico por vivienda	85	53
	Total iluminación (ktep) ( $M4_2+P5$ )	797	302

Los ahorros energéticos obtenidos en el uso de iluminación interior en los edificios vivienda y terciarios han venido determinados, fundamentalmente, por la penetración de lámparas de bajo consumo.

El ahorro global en iluminación es de 797 ktep con respecto al año 2004, fundamentalmente, en el sector terciario (un 90% sobre el total).

Mediante indicadores ascendentes se ha calculado el efecto de la renovación inducida desde la Administración Pública a través de los programas de ayudas para la renovación de los sistemas de iluminación y de los programas especiales de fomento del uso de lámparas eficientes.

- Programa de reparto de lámparas de bajo consumo
- Programa 2x1 de lámparas de bajo consumo
- Mejora de la eficiencia energética de las instalaciones de iluminación

Para la determinación del ahorro obtenido gracias al programa de reparto de lámparas de bajo consumo, se ha calculado la diferencia de potencias entre la lámpara incandescente sustituida y la lámpara eficiente sustituyente. Posteriormente, esta mejora unitaria se ha multiplicado por el número anual de horas de funcionamiento medio de una lámpara y por el número de lámparas eficientes repartidas a través del programa, según la expresión:

$$BU_{ikt} = \sum_{t=2004-2007}^{2010} (P^{imp,inc} - P^{imp,efc}) \cdot h_{ON} \cdot (n_{imp,ikt})_t$$

13-13

donde

- $P^{imp,inc}$  Potencia lampara incandescente
- $P^{imp,efc}$  Potencia lampara eficiente
- $h_{ON}$  Numero medio de horas anuales de funcionamiento
- $n_{imp,ikt}$  Numero lamparas repartidas cada año por el programa

La vida útil para lámparas ( $h_{ON}$ ) de bajo consumo es, aproximadamente, 15 años, tiempo que supera el periodo de análisis (hasta el 2010), por lo que los ahorros alcanzados en 2010 resultan del sumatorio de los ahorros reportados desde 2004 ó 2007 en función de la base de cálculo elegida.

**Tabla 13.16:** Variables de actividad utilizadas en el cálculo de ahorros del mecanismo “Programa de reparto de lámparas de bajo consumo a través de tickets regalo con la factura eléctrica” 2004-2010

Variable	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
		<b>n<sub>imp,tkt</sub> (tickets regalo)</b>			<b>n<sub>imp,2x1</sub></b>	<b>n<sub>imp,tkt</sub> (tickets regalo)</b>	<b>n<sub>imp,tkt</sub> (tickets regalo)</b>
<b>n<sub>imp</sub></b>		200.592			2.400.000	7.254.250	6.576.625
<b>h<sub>ON</sub></b>		1.050			1.050	1.050	1.050
<b>P<sup>imp,inc</sup> (W)</b>		100			100	100	100
<b>P<sup>imp,efc</sup> (W)</b>		18			18	18	18

Para el cálculo de los ahorros asociados al Programa 2x1 de lámparas de bajo consumo se ha utilizado un indicador ascendente similar al utilizado en el mecanismo anterior.

$$BU_{2x1} = \sum_{t=2004-2007}^{2010} (P^{imp,inc} - P^{imp,efc}) \cdot h_{ON} \cdot (n_{imp,2x1})_t$$

13-14

donde

- $P^{imp,inc}$  Potencia lampara incandescente
- $P^{imp,efc}$  Potencia lampara eficiente
- $h_{ON}$  Numero medio de horas anuales de funcionamiento
- $n_{imp,2x1}$  Numero lamparas repartidas cada año por el programa

Para calcular el efecto derivado de programas de ayudas públicas para la mejora de la eficiencia energética de las instalaciones de iluminación interior, se ha utilizado la información de los proyectos objeto de ayuda pública para la renovación de estos sistemas.

$$BU_{ilm-IDAE} = \sum_{t=2004-2007}^{2010} Ah_{ilm-IDAE,t}$$

13-15

donde

- $Ah_{ilm-IDAE,t}$  Ahorros anuales reportados por las CC.AA. en relación a los programas de ayudas públicas para la mejora de la eficiencia energética de instalaciones de iluminación interior de edificios existentes

Se muestran en la tabla 13.17 los ahorros conseguidos y con qué medida utilizando las anteriores ecuaciones.

**Tabla 13.17:** Ahorro en consumo eléctrico en iluminación interior

Indicador energético	Ahorro	Año base	
		2004	2007
<b>BU<sub>tkt</sub></b>	Programa de reparto de lámparas de bajo consumo (ticket regalo)	140,5	138,5
<b>BU<sub>2x1</sub></b>	Programa de reparto 2x1 de lámparas de bajo consumo	24	24
<b>BU<sub>ilm-IDAE</sub></b>	Mejora de la eficiencia de las instalaciones de iluminación interior	29,7	24,9

### 13.2.4.3. Equipamiento

Para el cálculo de los ahorros totales que se han producido en equipamiento, se ha utilizado el indicador M2<sub>4</sub> para electrodomésticos, M1<sub>3</sub> (térmico) y M2<sub>3</sub> (eléctrico) en cocinas de edificios

de viviendas, M3<sub>3</sub>(térmico) y M4<sub>3</sub> (eléctrico) en cocinas de edificios terciarios y M4<sub>4</sub> para el equipamiento ofimático.

Los ahorros resultan de la multiplicación entre la diferencia de los valores de estos indicadores para el año de referencia (2004 ó 2007) y el año de cálculo (2010) y el valor de la variable de actividad relativa al indicador. A modo de ejemplo, para el indicador M4<sub>4</sub>:

$$Ahorros\ por\ M4_4 = \left[ \left( \frac{E_{2004}^{T,elec}}{n_{emp,2004}} \right) \cdot \%_{OFM,2004}^{T,elec} - \left( \frac{E_{2010}^{T,elec}}{n_{emp,2010}} \right) \cdot \%_{OFM,2010}^{T,elec} \right] \cdot n_{emp,2010} \quad 13-16$$

De forma similar se obtendría los ahorros energéticos a través de los indicadores P4 y P4<sub>1</sub> como sumatorio de las diferencias entre los consumos unitarios (consumo por tipo de equipamiento entre su existencia) del año de referencia y de cálculo multiplicado por la existencia de electrodomésticos del año para el que se calcula el ahorro. A modo de ejemplo, para el indicador P4:

$$Ahorros\ P4 = \sum_{x=Electrodomestico} (CUE_{2004}^x - CUE_{2010}^x) \cdot Existencias_{2010}^x \quad 13-17$$

La tabla 13.18 muestra los ahorros conseguidos en equipamiento utilizando las anteriores fórmulas.

**Tabla 13.18:** Ahorro de energía final 2010 en ktep

Indicador	Ahorro en consumo	Base 2004	Base 2007
M1 <sub>3</sub>	Ahorro térmico por hogar destinado a cocinas	125	81
M2 <sub>4</sub>	Ahorro eléctrico por hogar destinado a electrodomésticos	231	154
M2 <sub>3</sub>	Ahorro eléctrico por hogar destinado a cocinas	-26	-3
M3 <sub>3</sub>	Ahorro térmico por empleado destinado a cocinas	85	40
M4 <sub>3</sub>	Ahorro eléctrico por empleado destinado a cocinas	-11	-5
M4 <sub>4</sub>	Ahorro eléctrico por empleado destinado a ofimática	-658	-58
M1 <sub>3</sub> +M2 <sub>4</sub> +M2 <sub>3</sub> +M3 <sub>3</sub> +M4 <sub>3</sub> +M4 <sub>4</sub>		-255	113
P4	Ahorro unitario electricidad por electrodomésticos	286	165
P4 <sub>1</sub>	Ahorro unitario térmico y eléctrico por cocina	78	126
P4+P4 <sub>1</sub>		364	291
Total equipamiento M3 <sub>3</sub> +M4 <sub>3</sub> +M4 <sub>4</sub> +P4+P4 <sub>1</sub>		-220	268

Los indicadores descendentes M sugieren que no se han producido ahorros (M1<sub>3</sub>+M2<sub>4</sub>+M2<sub>3</sub>+M3<sub>3</sub>+M4<sub>3</sub>+M4<sub>4</sub>= -255 ktep) debido, principalmente, a una mayor penetración de equipamiento tanto en viviendas como especialmente en el sector terciario. En particular, debe tenerse también en consideración que la variable sobre la que se normaliza el consumo en este último sector es el número de empleados a tiempo completo, variable muy sensible a la coyuntura económica actual.

Los indicadores descendentes P, calculados para viviendas, muestran que se han producido ahorros (P4+P4<sub>1</sub>=364 ktep) en la renovación de los equipos ya que éstos son calculados en función del número de electrodomésticos y cocinas, variables unitarias que mantienen una relación directa con el consumo.

Para el cálculo de los ahorros del mecanismo “Plan Renove” se ha establecido un indicador ascendente para los electrodomésticos de gama blanca y otro para las cocinas y hornos.

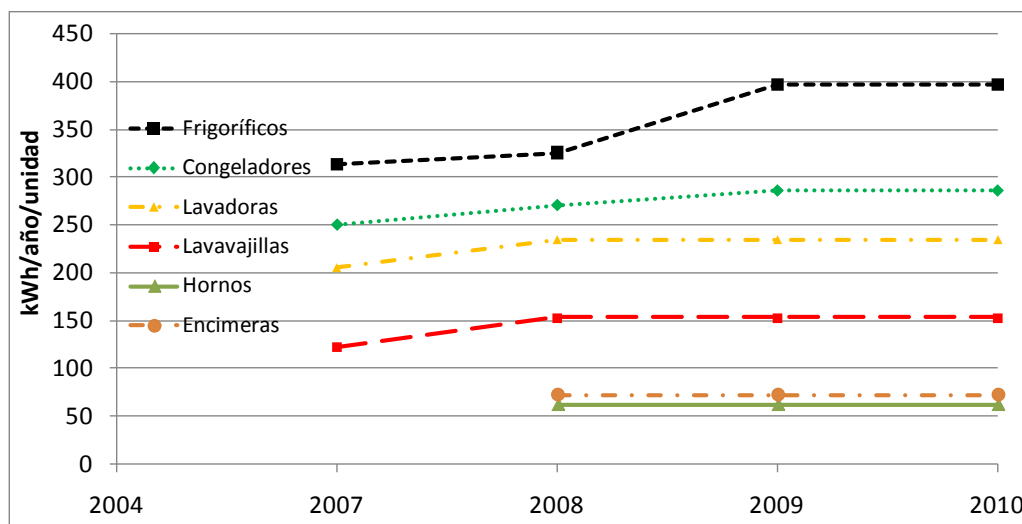
Este tipo de indicador mide el ahorro unitario obtenido por la sustitución de un equipo, o lo que es lo mismo la diferencia entre el consumo del menos eficiente sustituido por el más eficiente sustituyente.

$$BU_{gm-bl} = AUELC^x \quad \left| \begin{array}{l} \text{donde} \\ \cdot AUELC^x \text{ Ahorro unitario de electricidad por tipo logia de equipo} \end{array} \right. \quad 13-18$$

$$BU_{gm-mrm} = AUELC^x \quad \left| \begin{array}{l} \text{donde} \\ \cdot AUELC^x \text{ Ahorro unitario de electricidad por tipo logia de equipo} \end{array} \right. \quad 13-19$$

**Tabla 13.19:** Ahorro de energía final por unidad eficiente vendida AUELC<sup>x</sup> (kWh/año/unidad)

Equipo	2004	2007	2008	2009	2010
<b>Frigoríficos</b>		313,9	325,8	397	397
<b>Congeladores</b>		249,7	270,5	285,9	285,9
<b>Lavadoras</b>		205,2	234,9	234,9	234,9
<b>Lavavajillas</b>		121,9	153,1	153,1	153,1
<b>Hornos</b>			62,4	62,4	62,4
<b>Encimeras</b>			72,6	72,6	72,6



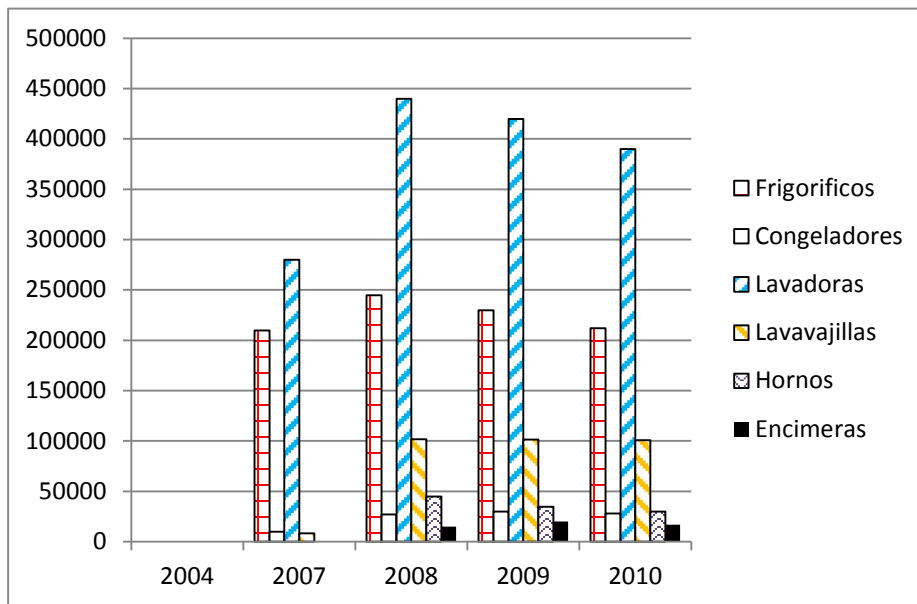
**Imagen 13.37:** Ahorro producido en el marco Plan Renove de electrodomésticos de 2006 a 2010

El resultado final del “Plan Renove” de electrodomésticos será la multiplicación del número de sustituciones reportadas por las Comunidades Autónomas en cada uno de los años de vigencia de la actuación por el ahorro que supone la renovación de un electrodoméstico no eficiente por otro eficiente. Por ejemplo para el caso de electrodomésticos de gama blanca

$$Ahorros\ por\ BU_{gm-bl\ n} = \sum_{x=electrodomestico} (AUELC^x \cdot Sustituciones) \quad 13-20$$

**Tabla 13.20:** Número de unidades sustituidas por Plan Renove de electrodomésticos y cocinas (unidades)

Equipo	2004	2007	2008	2009	2010
<b>Frigoríficos</b>		211.322	246.619	238.994	222.651
<b>Congeladores</b>		20.138	35.298	34.206	31.867
<b>Lavadoras</b>		285.018	439.765	426.168	397.025
<b>Lavavajillas</b>		86.862	118.649	114.980	107.118
<b>Hornos</b>			56.775	55.020	51.257
<b>Encimeras</b>			26.846	26.016	24.236



**Imagen 13.38:** Unidades sustituidas en el marco Plan Renove de electrodomésticos de 2006 a 2010

Se muestran en la tabla 13.21 los ahorros conseguidos y con qué medida utilizando las anteriores ecuaciones.

**Tabla 13.21:** Ahorro de energía final 2010 en ktep

Indicador energético	Ahorro en consumo	Año base	
		Base 2004	Base 2007
$BU_{gm-blñ}$	Plan renove de electrodomésticos gama blanca	80	55,1
$BU_{ccñ}$	Plan renove de electrodomésticos cocinas	1,4	1,4

Mediante el ahorro unitario obtenido por cada renovación, por el número de sustituciones realizadas en los “Planes Renove” se ha obtenido un ahorro de 81,4 ktep ( $BU_{gm-blñ} + BU_{gm-mrrñ}$ ) en el año 2004.

Los ahorros atribuidos al equipamiento son el resultado de la renovación de equipos electrodomésticos y cocinas en hogares y establecimientos del sector servicios (hoteles, restaurantes) por otros más eficientes, como resultado del progreso tecnológico y de los programas de incentivación de las sustituciones de equipos por otros de alta calificación energética.

#### 13.2.4.4. Conclusiones

Los ahorros de energía final atribuibles al sector edificación y equipamiento ( $2.232 \text{ ktep/año}_{2004}$ ) se deben, fundamentalmente, a la mejora de la eficiencia energética de la envolvente térmica y los equipos térmicos y básicamente se localizan en el sector terciario (aproximadamente el 61% de los ahorros totales en 2010 corresponden a los ahorros en calefacción, refrigeración y agua caliente sanitaria en el sector terciario  $1.364 \text{ ktep/año}_{2004}$ ).

**Tabla 13.22:** Ahorro de energía final por sectores año 2010 ktep con base 2004 y 2007

EDIFICIO	Base 2004	Base 2007
<b>RESIDENCIAL</b>	355	752
<b>Envolvente y equipos térmicos</b>	274	699
<b>Iluminación interior</b>	81	53
<b>TERCIARIO</b>	2.077	1.570
<b>Envolvente y equipos térmicos</b>	1.364	1.322
<b>Iluminación interior</b>	713	248
<b>EQUIPAMIENTO</b>	-199	207
<b>TOTAL: EDIFICACIÓN Y EQUIPAMIENTO</b>	2.232	2.529

El sector edificios ha conseguido unos ahorros de 2.232 ktep en el período 2004-2010. El 67% de estos ahorros (1.638ktep) derivan de mejoras de la envolvente de los edificios y sus instalaciones térmicas y un 33% (797ktep) se debe a la instalación de iluminación interior más eficiente, mientras que en el sector equipamiento no se han producido ahorros.

Estos resultados se han logrado gracias a las medidas propuestas en los Planes de Acción 2005-2007 y 2008-2012, apoyados por actuaciones normativas que han estimulado la eficiencia energética.

Los ahorros imputables de manera directa a los planes y normativas, se estiman en 652 ktep. El Código Técnico de la Edificación es la normativa a la que se pueden imputar mayores ahorros (231,7 ktep = 29,7+13+84,9) suponiendo casi un 40% de los ahorros. Los mecanismos relativos al uso iluminación interior (programa de cooperación IDAE-CCAA, programas de reparto gratuito de bombillas y programa 2x1) han conseguido ahorrar 194 ktep. Finalmente, los planes de renovación de electrodomésticos han ahorrado 81,4ktep.

La tabla 13.23 resume los ahorros calculados mediante indicadores ascendentes, utilizando la matriz que permite comprobar las intersecciones medida/mecanismo, poniendo de manifiesto los mecanismos (ayudas públicas, mecanismos normativos u otros) que se utilizan para conseguir ahorros por mejora de la eficiencia energética en la envolvente y los equipos térmicos, en la iluminación y en el equipamiento.

**Tabla 13.23:** Ahorros por medidas ascendentes año 2010 en ktep (año referencia 2004)

Mecanismos Medidas	Cooperación CCAA y IDAE	Programa de ayudas IDAE a Proyectos Estratégicos	Campaña 2x1 Lámparas de bajo consumo	Campaña de reparto de lámparas de bajo consumo 2009 y 2010	RD 1027/2007	RD 314/2006	RD 47/2007	Programas de comunicación y difusión y efectos no cuantificables	Total
Rehabilitación envolvente térmica	22,3	60,9			231,7			1261,7	1.638
Mejora instalaciones térmicas	61,1								
Mejora instalaciones de iluminación interior	29,7		24	140,5			603		797
Renovación de electrodomésticos	81,4							-280,5	-220
<b>TOTAL</b>	<b>194,5</b>	<b>60,9</b>	<b>24</b>	<b>140,5</b>			<b>1.815,9</b>		<b>2.214</b>

Celdas sombreadas en gris son Ahorros directos conseguidos por los mecanismos y las azules son por medidas indirectas

No cuantificables, pero no menos importantes, desde el primer Plan de Acción se podrían citar los siguientes efectos:

- Favorecimiento de la compra de aparatos de climatización (aparatos de aire acondicionado, calderas, etc.) y equipamiento de las clases con más alta calificación. Esto produce una concentración de la demanda de aparatos más eficientes, favoreciendo las economías de escala de los productores y, por lo tanto, el abaratamiento final de los mismos, pudiendo obtener como resultado la presencia única de estos aparatos en el mercado. Esto provoca una mejora inducida de la eficiencia en el sector de edificación.
- Un efecto indirecto que puede provocar equipos de alta eficiencia en el consumo eléctrico es el comienzo del uso incorrecto del aparato. El consumidor al saber que sus aparatos de climatización son más eficientes y que, por lo tanto, consumen menos energía, puede empezar a no preocuparse por su consumo y usarlos de una manera más extrema aumentando su grado de bienestar en la vivienda (por ejemplo el efecto de la eficiencia en el consumo se estaría perdiendo por la ampliación de los horarios).



- Ahorros producidos por los programas de difusión y comunicación de IDAE el nuevo RITE o la concienciación de los ciudadanos.

Como se indicó además el indicador de ahorro energético del Código Técnico de la Edificación (BU<sub>ET</sub>) para la calificación energética, en el subsector de envolvente e instalaciones térmicas, sólo se han contabilizado los ahorros producidos por las viviendas nuevas construidas a partir de 2007 (entrada en vigor de la normativa) en contra de lo que implica esta medida, ya que también obliga a las rehabilitaciones de edificios con una serie de características específicas de superficie y consumo. Tampoco se han considerado los edificios rehabilitados parcialmente, ya que la rehabilitación supone el cambio de parte de los conceptos incluidos en las medidas de envolvente e instalaciones térmicas.

### 13.3. Consumos y ahorros en el futuro (año 2020)

Para el periodo 2011-2020, se prevén [2.9] varias medidas que tenderán a reducir, tanto la demanda energética en calefacción y refrigeración (mejora de la envolvente térmica de los edificios), como a mejorar el rendimiento energético de las instalaciones más consumidoras de energía de climatización, iluminación y equipamiento.

En el caso de los edificios nuevos la estrategia se centrará en la promoción de edificios de alta calificación energética (clases A y B en el horizonte 2015 [2.26]) y en el desarrollo de un plan específico para edificios de consumo de energía casi nulo. Por lo que se refiere al equipamiento doméstico o comercial se centrará en la mejora de la eficiencia energética del parque de electrodomésticos.

Las proyecciones de consumo nacional al 2020 en términos de energía final apuntan a un crecimiento en el peso del consumo del sector edificios sobre el consumo de energía final en usos energéticos, pasando del 26% en el año 2010 al 28% en 2020.

Se pueden resumir en siete las medidas de ahorro energético fundamentales en el sector edificación y equipamiento mostrados en el plan [2.9]:

1. Rehabilitación energética de la envolvente térmica de los edificios existentes. Se realizarán actuaciones sobre  $58,1 \cdot 10^6 \text{ m}^2/\text{año}$ , es decir  $581 \cdot 10^6 \text{ m}^2$  en la década 2010-2020, de superficie construida para lo que se requerirá una inversión en sobre coste por tecnología eficiente de 5.594 M€ (aproximadamente 96 €/m<sup>2</sup>). El apoyo a gestionar por el sector público<sup>164</sup> total en el periodo 2011-2020 sería de 1.109,5 M€
2. Mejora de la eficiencia energética de las instalaciones térmicas de los edificios existentes. El desarrollo de esta medida se realizará sobre 8.200 MW térmicos/año, es decir 82.000 MW térmicos en los 10 años del plan, en equipos de producción de frío/calor, distribución, regulación y control y climatizadores.  
Se requerirá una inversión en sobre coste por tecnología eficiente de 7.258 M€ (aproximadamente 89 €/kW). El apoyo a gestionar por el sector público total en el periodo 2011-2020 sería de 283 M€
3. Mejora de la eficiencia energética de las instalaciones de iluminación interior en los edificios existentes. Supondrá actuar sobre  $200 \cdot 10^6 \text{ m}^2$  de superficie construida en edificios del sector terciario durante el periodo del Plan, lo que requerirá una inversión en sobre coste por tecnología eficiente de 8.763 M€ (aproximadamente 44 €/m<sup>2</sup>).

---

<sup>164</sup>El resto de la inversión se realizará sin apoyo como efecto inducido por el impulso de esta medida en el sector

Además de esta actuación será necesario sustituir 34 millones de lámparas incandescentes por tecnologías eficientes en el sector doméstico, proceso que se deberá producir de forma natural, debido a las restricciones a su comercialización impuestas por la Unión Europea.

El apoyo a gestionar por el sector público total en el periodo 2011–2020 sería de 192 M€

4. Construcción de nuevos edificios y rehabilitación integral de existentes con alta calificación energética Se deberá promover 8,2 millones de m<sup>2</sup>/año, es decir, 82 millones de m<sup>2</sup> durante el periodo del Plan, con una inversión en sobrecoste por tecnología eficiente de 4.868 M€ para ejecutar las medidas tecnológicas necesarias para pasar de una calificación energética que cumpla con los requisitos mínimos de eficiencia energética (aproximadamente 59 €/m<sup>2</sup>)

El apoyo a gestionar por el sector público total en el periodo 2011–2020 sería de 788 M€

5. Construcción o rehabilitación de edificios de consumo de energía casi nulo. Para ello se deberá promover la construcción o rehabilitación energética de edificios con una superficie de 10.000 m<sup>2</sup>/año, es decir, 100.000 m<sup>2</sup> durante el periodo del Plan, con una inversión en sobrecoste por tecnología eficiente de 19 M€ (aproximadamente 190 €/m<sup>2</sup>)

El apoyo a gestionar por el sector público total en el periodo 2011–2020 sería de 5 M€

6. Mejora de la eficiencia energética de las instalaciones de frío comercial. Para ello se deberá promover actuaciones de mejora de la eficiencia energética sobre un parque con una potencia instalada de 1 MW eléctrico/año en frío industrial. Es decir, 10 MW eléctricos durante todo el periodo del Plan, para lo que se requerirá una inversión en sobrecoste por tecnología eficiente de 20 M€

El apoyo a gestionar por el sector público total en el periodo 2011–2020 sería de 5 M€

7. Mejora de la eficiencia energética del parque de electrodomésticos. Para ello se deberá sustituir 300.000 electrodomésticos/año, es decir, 3 millones de electrodomésticos durante el periodo del Plan, con una inversión en sobrecoste por tecnología eficiente de 800 M€ (267 €/ud).

El apoyo a gestionar por el sector público total en el periodo 2011–2020 sería de 500 M€

En la tabla 13.24 se resumen estas siete actuaciones.

**Tabla 13.24:** Resumen por medidas del sector edificación y equipamiento

EDIFICACIÓN Y EQUIPAMIENTO	Ahorros de energía final (ktep)		% Ahorro de energía final		Ahorros de energía primaria (ktep)		Emisiones evitadas de CO <sub>2</sub> (ktCO <sub>2</sub> )		Apoyos gestión público (10 <sup>6</sup> €)			Inversiones (Apoyo+aportación privada)(10 <sup>6</sup> €)			Inversión (Apoyo+aportación privada) Ratio
	2016	2020	2016	2020	2016	2020	2016	2020	2011-2016	2017-2020	2011-2020	2011-2016	2017-2020	2011-2020	2011-2010
<b>TOTAL</b>	2.674	2.866	28,98	27,04	5.097	5.567	11.115	12.119	1.730	1.153	2.883	16.393	10.929	27.322	
Rehabilitación energética de la envolvente térmica de los edificios existentes	775	775	33,95	31,68	1.319	1.329	2.921	2.943	666	444	1110	3.356	2.238	5.594	96 €/m <sup>2</sup> (1)
Mejora de la eficiencia energética de las instalaciones térmicas de los edificios existentes	908	908	25,20	29,37	1.546	1.558	3.424	3.449	170	113	283	4.355	2.903	7.258	89 €/kW
Mejora de la eficiencia energética de las instalaciones de iluminación interior en los edificios existentes	674	842	8,38	8,62	1.588	1.986	34	4.251	115	77	192	5.258	3.505	8.763	44 €/m <sup>2</sup> (1)
Construcción de nuevos edificios y rehabilitación de existentes con alta calificación energética	224	247	0,03	0,06	425	473	901	1.002	473	315	788	2.921	1.947	4.868	59 €/m <sup>2</sup> (1)
Mejora de la eficiencia energética de las instalaciones de frío comercial	0,8	1,6	0,01	0,03	1,9	3,8	4	8,1	3	2	5	12	8	20	190 €/m <sup>2</sup> (1)
Construcción o rehabilitación de edificios de consumo de energía casi nulo	0,4	0,8	3,44	3,21	0,8	1,5	1,6	3,2	3	2	5	11,4	7,6	19	500 €/kW
Mejora de la eficiencia energética del parque de electrodomésticos	92	92	28,98	27,04	216	216	463	463	300	200	500	480	320	800	267 ud
(1) m <sup>2</sup> de superficie total															

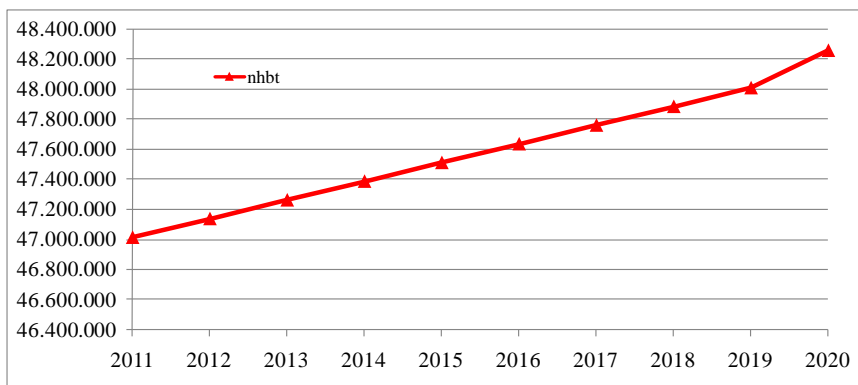
### 13.3.1. Evolución de las variables de actividad

Para conocer los consumos en años próximos se han elaborado una serie de hipótesis, principalmente, sobre las variables de actividad que figuran en la tabla 13.25 e implica que el valor absoluto de los ahorros de energía final que se muestran está condicionado a la evolución supuesta para las variables en el horizonte del año 2020.

**Tabla 13.25:** Hipótesis asumidas a 2020 sobre las variables de actividad

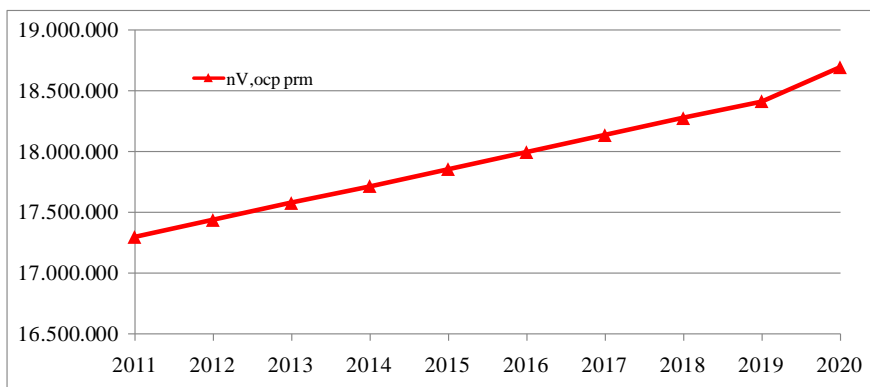
SECTOR	VARIABLE DE ACTIVIDAD	2020	2010-2020 (Tasa variación interanual)	UNIDAD
<b>EDIFICACIÓN, EQUIPAMIENTO O Y SERVICIOS</b>	Población	48.263	2,61%	10 <sup>3</sup>
	Nº total de viviendas	27.755	4,01%	10 <sup>3</sup>
	Nº de viviendas principales	18.698	8,6%	10 <sup>3</sup>
	m <sup>2</sup> viviendas principales	1.559.191	3,77%	10 <sup>3</sup> m <sup>2</sup>
	Nº de empleados	16.068	19,84%	10 <sup>3</sup>

Se estima que la población sufrirá un crecimiento medio en el periodo 2010-2020, según datos del INE[2.27], en torno a 120.000 habitantes/año, lo que supondría una tasa de variación interanual en el periodo 2010-2020 de 0,26 % de la población en España, pasando de 47.021.000 de habitantes en 2010 a 48.263.000 en 2020. Es decir, un incremento de 1,2 millones en este periodo.



**Imagen 13.39:** Previsión de la evolución de la población

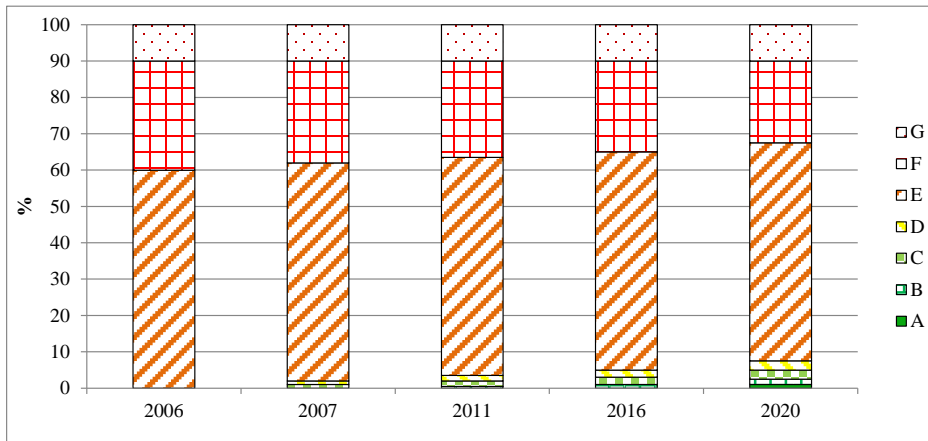
El número de viviendas permanentemente ocupadas sufrirá un crecimiento medio en el periodo 2010-2020, según datos del INE [2.27], en torno a 139.000 viviendas/año, lo que supondría una tasa de variación interanual en el periodo 2010-2020 de 0,86 %, pasando de 17.304.000 viviendas en 2010 a 18.698.956 en 2020. Es decir, un incremento en términos absolutos de 1,4 millones en este periodo.



**Imagen 13.40:** Previsión de la evolución de los hogares

Desde el año 2007, cuando entra en vigor la Certificación Energética de Edificios de nueva construcción, se ha producido un progresivo crecimiento del porcentaje de superficie de edificios con alta calificación energética, letras A y B. Durante el periodo 2011-2020, se prevé pasar del 1% de la superficie del parque de edificios en el año 2011, al 1,4% en el año 2020.

Partiendo de los datos disponibles de certificados energéticos registrados en los órganos competentes de las Comunidades Autónomas desde el año 2007 (comunidades autónomas<sup>165</sup> de Cataluña, Extremadura, Galicia y Navarra) y de estudios realizados sobre el nivel de eficiencia energética del parque existente se ha confeccionado el gráfico siguiente.



**Imagen 13.41:** Previsión evolución de la clase energética en los edificios. Fuente IDAE

Este bajo grado de penetración de los edificios con alta calificación energética en relación con el parque de edificios existente es debido, en primer lugar, a las reducidas expectativas de construcción de nueva edificación en el periodo 2011-2020 (3,7% de crecimiento en el periodo 2011-2020).

Aun considerando que estos nuevos edificios tendrán que tener una calificación energética mínima de clase E, una vez que se modifique el Código Técnico de la Edificación en 2013, y que se promocionará (gracias al Plan de Acción 2011-2020 y el apoyo de otras políticas públicas de la Administración del Estado, como es el caso del Plan Estatal de fomento del alquiler de viviendas, la rehabilitación edificatoria, y la regeneración y renovación urbanas[2.29]) la construcción de edificios de las clases A y B y de edificios de consumo de energía casi nulo, su peso en relación con el parque construido será bajo.

Con la rehabilitación<sup>166</sup> tampoco se prevé que alcance un número elevado de edificios eficientes debido a la mayor dificultad técnica que tienen las actuaciones que mejoren la calificación energética, lo que hace que sea más difícil alcanzar una calificación energética de tipo A que en un edificio nuevo.

El grado de penetración del equipamiento consumidor de energía, que ha sufrido variaciones importantes en los últimos años también se prevé que sufrirá variaciones en los próximos años.

En concreto las cocinas eléctricas frente a las no eléctricas ó mixtas, podrán llegar al 74% de los hogares en 2020, frente a la cocina de gas que disminuye del 37 % al 22 %. También se incrementa el uso de lavavajillas pasando del 44 % al 53 % y hornos del 65 % al 80%.

<sup>165</sup> El número de Comunidades Autónomas que tienen implantado un registro de certificados energéticos es muy bajo, a pesar de los cuatro años transcurridos desde la entrada en vigor del procedimiento básico en 2007. Se llama la atención a que la falta de estos datos no permitirá atender debidamente las obligaciones que España tiene como estado miembro ante la Comisión Europea, por lo que se debe instar a la colaboración autonómica eficaz en el desarrollo de la legislación autonómica que establezca mecanismos de registro, control e inspección.

<sup>166</sup> Para realizar las previsiones anteriores de calificación energética se ha considerado una rehabilitación del 13% del parque de viviendas existentes en 2020

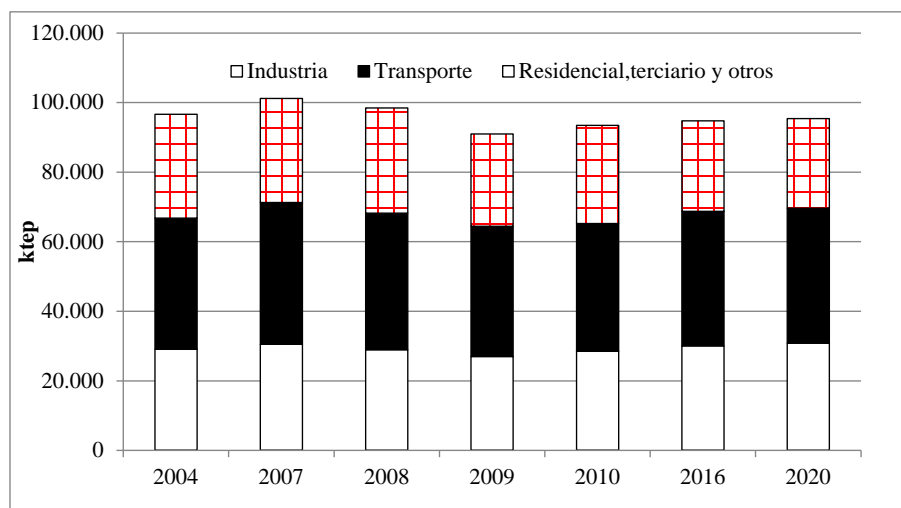
Frigoríficos y lavadoras ya tienen en 2011 un grado de penetración alto, del 98,9% y 96 % respectivamente por lo que no se prevé evolución alguna.

### 13.3.2. Consumos energéticos y ahorros previsibles

En términos de energía final, el objetivo en el año 2020 es un consumo de 95.356 ktep (descontando energía final con fines no energéticos).

**Tabla 13.26:** Consumos de energía final por sectores (ktep) (excluidos usos energéticos)

Sectores	2004	2007	2008	2009	2010	2016	2020	(Tasa variación neta interanual) 2010-2020
<b>Industria</b>	29.855	29.878	30.241	26.468	28.209	26.034	25.777	-8,6%
<b>Transporte</b>	37.736	40.804	39.313	37.464	36.744	38.670	38.752	5,5%
<b>Residencial, terciario y otros</b>	29.030	30.448	28.886	26.975	28.470	30.016	30.827	8,3%
<b>TOTAL</b>	96.011	101.130	98.440	90.906	93.348	94.720	95.356	2,1%

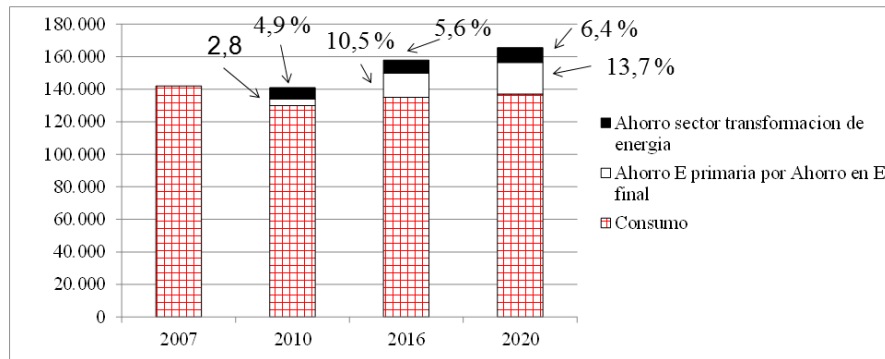


**Imagen 13.42:** Consumo de energía final por sectores. Fuente: Escenarios de planificación energética indicativa prevista en el artículo 79 de la Ley 2/2011 de Economía Sostenible

**Tabla 13.27:** Consumos de energía final por fuentes (ktep) (excluidos usos energéticos)

Fuentes (ktep)	2004	2007	2010	2016	2020	(Tasa variación interanual) 2010-2020
<b>Carbón</b>	2.405	2.317	1.693	2.168	2.146	26,8%
<b>Productos Petrolíferos</b>	54.244	55.277	48.371	43.026	39.253	-18,9%
<b>Gas natural</b>	16.283	17.277	16.573	18.211	18.800	13,4%
<b>Electricidad</b>	19.914	22.159	21.410	24.343	27.085	26,5%
<b>Energías Renovables</b>	3.774	4.101	5.375	6.971	8.070	50,1%
<b>TOTAL</b>	96.620	101.131	93.422	94.719	95.354	2,1%

El ahorro anterior, en términos de energía primaria (incluidos usos energéticos), equivale a un 20% (6,4 en transformación de la energía, mejora en la distribución fundamentalmente y 13,7 en ahorro de energía final) del consumo de energía primaria que habría tenido lugar en 2020 en ausencia de las políticas de diversificación y promoción de las energías renovables aprobadas por el gobierno español y la eficiencia energética.



**Imagen 13.43:** Consumos y ahorros de energía primaria (ktep)

Considerando de manera conjunta los edificios de uso vivienda y los de uso terciario, los ahorros se atribuyen, en un 69%, a las mejoras sobre la envolvente y las instalaciones térmicas, y, en un 29%, a las mejoras de la eficiencia energética en iluminación (mayoritariamente, en el parque de edificios de uso terciario).

**Tabla 13.28:** Ahorros de energía final por sectores (ktep) y distribución porcentual de ahorros (base 2007)

SECTOR	2010		2016		2020	
	(ktep)	%	(ktep)	%	(ktep)	%
<b>EDIFICACIÓN Y EQUIPAMIENTO</b>	<b>2.586</b>	<b>54%</b>	<b>2.674</b>	<b>20%</b>	<b>2.867</b>	<b>16%</b>
RESIDENCIAL	752	16%	119	1%	211	1%
Envolvente y equipos térmicos	699	15%	85	1%	161	1%
Iluminación	53	1%	34	0,3%	50	0,3%
TERCIARIO	1.570	33%	2497	19%	2.736	15%
Envolvente y equipos térmicos	1.322	28%	1858	14%	1.944	11%
Iluminación	248	5%	639	5%	792	4%
EQUIPAMIENTO	207	4%	57	0,4%	-80	-0,4%

Como se observa en la tabla 13.28, los ahorros se obtienen fundamentalmente en el sector terciario, puesto que, en las viviendas, los ahorros en energía final para calefacción, derivados de las medidas propuestas sobre la envolvente y la eficiencia energética de los equipos (renovaciones de calderas, básicamente), se verán compensados por el aumento del consumo de energía por m<sup>2</sup> de superficie de vivienda construida para refrigeración.

### 13.3.3. Impulso de las Energías Renovables

Para la aplicación de la Directiva 2009/28/CE [2.15], la edificación representa un sector estratégico donde es vital establecer una serie de medidas que permitan fomentar la eficiencia energética y el uso de las energías renovables debido a que es un sector donde se registra un gran consumo como se cito.

En este sentido, la Directiva establece una serie de directrices encaminadas a que el sector de la edificación juegue un papel importante dentro del fomento de las energías renovables. Para ello, los Estados Miembros deberán conseguir que:

- Los organismos administrativos locales y regionales velen por que se instalen equipos y sistemas para la utilización de electricidad, calor y frío a partir de fuentes de energía renovables, y para sistemas urbanos de calefacción o refrigeración, a la hora de planificar, diseñar, construir y renovar zonas industriales o residenciales.
- Las normas y códigos de construcción contengan las medidas apropiadas para aumentar la cuota de todos los tipos de energía procedente de fuentes renovables en el sector de la construcción.

- Las normas y códigos aplicados al sector de la construcción sean un instrumento para fomentar la utilización de sistemas y equipos de calefacción y refrigeración a partir de fuentes de renovables que permitan reducir notablemente el consumo de energía fósil.

La Directiva 2009/28/CE establece en su artículo 13 que se recoja la obligatoriedad de utilizar energías renovables en los edificios a partir del 31 de diciembre del 2014, comenzando por los edificios públicos que en menos de un año, a partir del 1 de enero de 2012 deberán empezar a jugar un papel ejemplar en el cumplimiento de la Directiva, observando entre otras cosas que esta obligación se cumpla observando las normas relativas a las viviendas de energía cero, o mediante el uso de sus tejados por terceros para instalaciones de energías renovables.

Dicho artículo 13 cita textualmente: “...*Los Estados miembros introducirán en sus normas y códigos de construcción las medidas apropiadas para aumentar la cuota de todos los tipos de energías procedentes de fuentes renovables en el sector de la construcción.*

.../...

*A más tardar el 31 de diciembre de 2014, los Estados miembros exigirán en estas normas y códigos de construcción o en cualquier forma con efectos equivalentes, si procede, el uso de niveles mínimos de energía procedente de fuentes renovables en edificios nuevos y en los ya existentes que sean objeto de una renovación importante. Los Estados miembros permitirán que dichos niveles mínimos se cumplan, entre otras cosas, mediante la calefacción y la refrigeración por sistema central producidas utilizando un porcentaje importante de fuentes de energía renovables...”*

Las energías renovables<sup>167</sup> están también incluidas en la Directiva 2010/31/UE [2.28] por lo que van a ser un elemento clave a tener en cuenta en los edificios, de cara a conseguir alcanzar los requisitos mínimos de eficiencia energética y los edificios de consumo energético casi nulo que deben construirse a partir de 2020 (conceptualmente los edificios pasaran a ser un consumidor de energía a un productor de energía, que puede ser autosuficiente e incluso excedentarios).

Por tanto se incluirá una obligatoriedad más amplia (se están analizando las posibilidades y casos en los que sería adecuado establecer medidas semejantes en edificios existentes), mediante una contribución renovable mínima para usos térmicos en los edificios de nueva construcción con previsión de demanda de agua caliente, climatización de piscina cubierta, de calefacción o de climatización, de forma que una parte de las necesidades energéticas derivadas de esas demandas se cubra mediante distintas soluciones renovables.

Adicionalmente se han dado los pasos legales (publicación RD 238/2013) necesarios para trasponer la obligación exigida a los propietarios por el artículo 7.1 de la Directiva 2002/91/CE<sup>168</sup> de poner a disposición del posible comprador o inquilino, según corresponda, un certificado de eficiencia energética a partir del 1 de junio de 2013 en el que queda reflejada la mejor puntuación para edificios que aprovechen la energías renovables.

Además se ha realizado una serie de modificaciones al RITE<sup>169</sup> dirigidas a regular específicamente, y por consiguiente a eliminar las barreras existentes, a la hora de realizar instalaciones térmicas en los edificios con energías renovables (biomasa, geotermia y solar térmica).

---

<sup>167</sup> En concreto en España se ha publicado la herramienta postCALENER que permite la incorporación a los procedimientos de cálculo de certificación energética de edificios no contemplados en CALENER y evaluar y obtener la correspondiente calificación teniendo en cuenta cuando los edificios son abastecidos, tanto para calefacción como para ACS o para refrigeración, a través de sistemas de energías procedentes de biomasa, geotermia, absorción...

<sup>168</sup> el 24 de noviembre de 2011 la Comisión Europea lleva a España ante el Tribunal de Justicia de la Unión Europea por no cumplir esta Directiva, en concreto por incumplir el Derecho Europeo que todos los ciudadanos tienen ante la adquisición o alquiler de un inmueble existente y por no legislar el tema de las inspecciones de eficiencia energética de las instalaciones térmicas

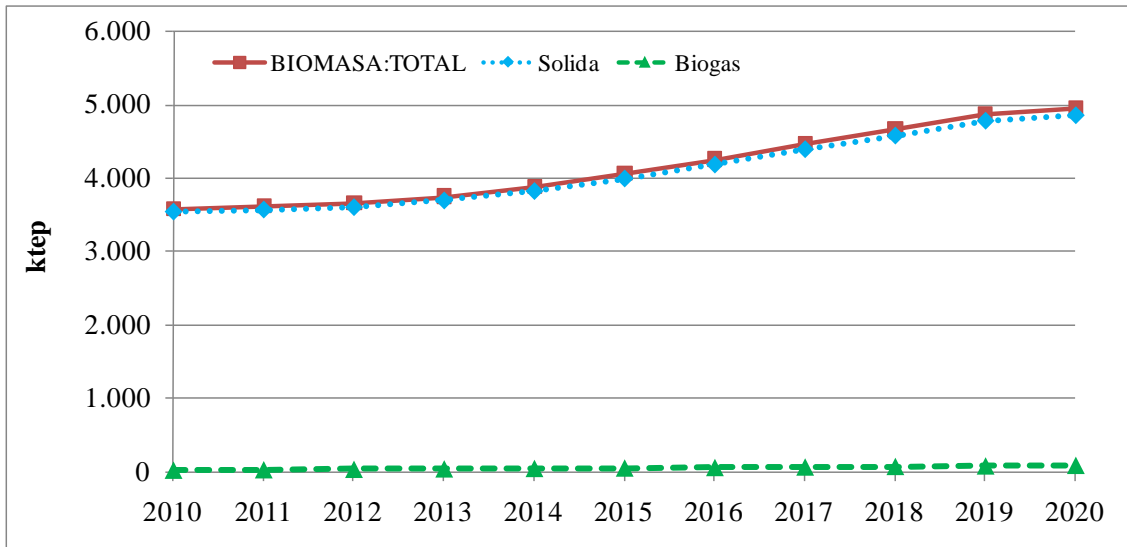
<sup>169</sup> El día 6 de junio de 2012 se cuelga el primer borrador para información pública. Este ha sido elaborado por todas las asociaciones del sector (en concreto 25) y entregado al Ministerio de Industria, Turismo y Energía que los traslada al grupo de trabajo de la comisión asesora del RITE que lo analiza y pide los comentarios y aportaciones a las Comunidades Autónomas. Finalmente se publican bajo el RD 235/2013.



Por tanto en el periodo 2011- 2020, adicionalmente a las modificaciones que actualmente se encuentran en curso, la energética edificatoria evolucionará, en el corto plazo, hacia las renovables térmicas.

La cuantificación de la contribución total de las energías renovables se establece en el Plan de Energías Renovables 2011-2020 [2.10] para calefacción y refrigeración (tanto en el sector residencial como el terciario) y se prevé que pasará de 3.933 ktep en 2010 a 5.296 ktep en el 2020 (tabla 13.28).

En concreto las previsiones de consumo de biomasa para el sector doméstico en 2020 alcanzarán un total de 4.950 ktep. En el gráfico siguiente, se muestra la previsión de evolución del sector al 2020.

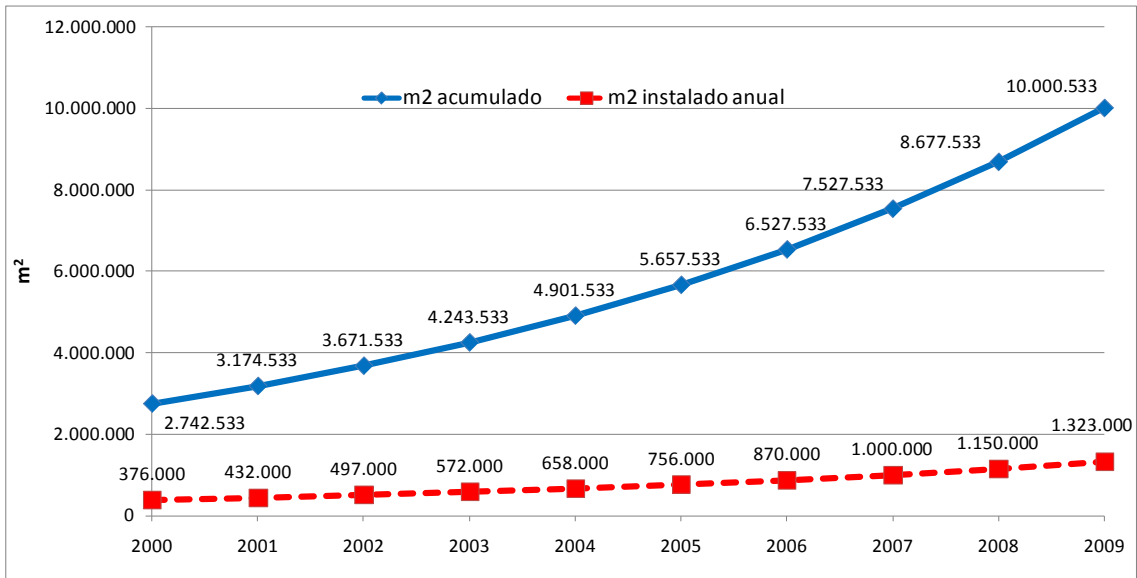


**Imagen 13.44:** Previsión de evolución de la biomasa térmica en edificios

La contribución de energía solar térmica al cumplimiento de los objetivos del 2020 se estima en 644 ktep, producidos por los 10.000.000 m<sup>2</sup> de paneles solares previstos para 2020, lo que supone un incremento en el período de aproximadamente 7.600.000 m<sup>2</sup>. Su principal aplicación está actualmente asociada al servicio de ACS de las viviendas, derivada de las exigencias del Código Técnico de la Edificación, si bien se espera una progresiva penetración en el sector industrial y en el sector terciario en el periodo 2011-2020.

La superficie solar térmica instalada ha seguido una senda ascendente en los últimos años, y a pesar de la desaceleración sufrida como causa de la crisis inmobiliaria en los años 2009 y 2010, se espera que en los próximos diez años continúe esta tendencia ascendente.

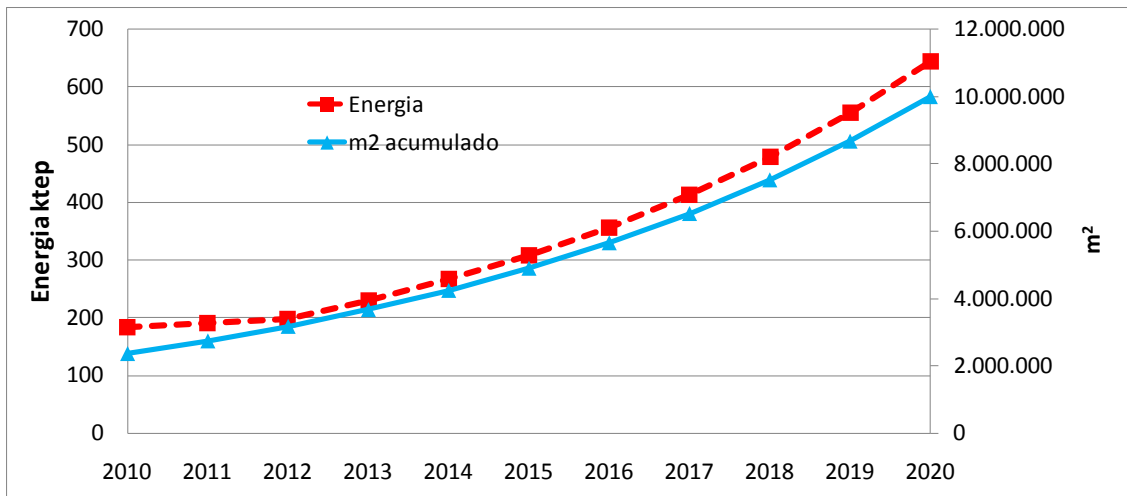
Esta hipótesis de evolución de la superficie instalada anual de energía solar térmica se considera alcanzable, si bien será necesario el mantenimiento de las medidas ya puestas en marcha, la adopción de nuevas medidas específicas, un mayor desarrollo tecnológico y el impulso a nuevas aplicaciones que permitan alcanzar los niveles de crecimiento necesarios de superficie instalada al año, los cuales se estiman en aproximadamente un 15 % anual.



**Imagen 13.45:** Evolución estimada de la superficie de captadores instalados (miles m<sup>2</sup>). Fuente IDAE

Para la consecución de estos objetivos será crucial el desarrollo de las aplicaciones en procesos industriales para producción tanto de calor como de frío, integración en los sistemas de climatización de los edificios del sector terciario y residencial y el desarrollo de las aplicaciones para calefacción y refrigeración urbana.

Se ha estimado que la producción energética crecerá desde un 4 % los primeros años hasta un 16 % según se muestra en la siguiente imagen:

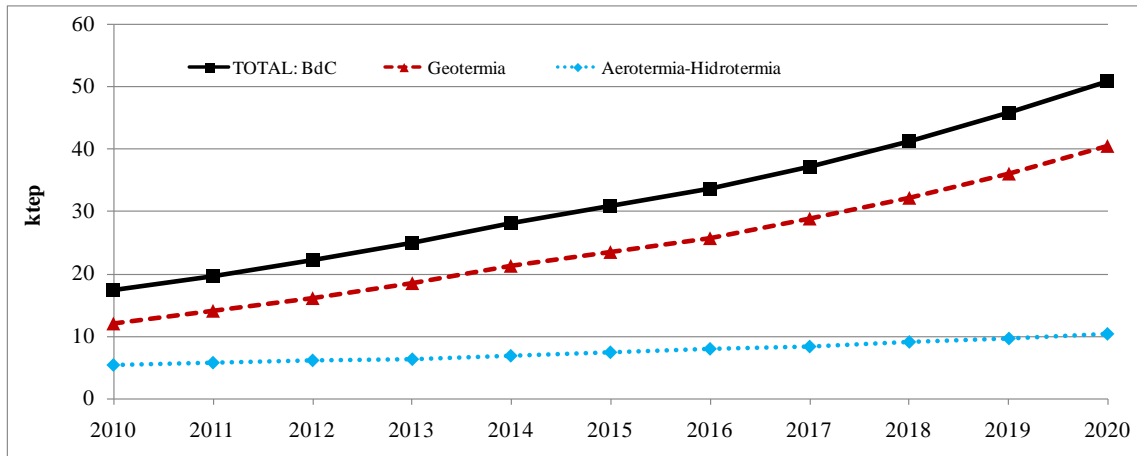


**Imagen 13.46:** Energía anual (ktep) y captadores instalados acumulados por años. Fuente IDAE

En cuanto a la geotermia<sup>170</sup> para usos térmicos, su contribución al cumplimiento de los objetivos al año 2020 se estima en 50 ktep, distribuidos en dos principales aplicaciones: usos directos de la energía geotérmica para proyectos de calefacción de distrito (9,5 ktep al 2020), que se estima se podrían desarrollar a partir de 2015 de acuerdo con el estado de desarrollo en el que se encuentran varias iniciativas y bombas de calor geotérmicas (40,5 ktep), sector que ha experimentado un despegue importante en los últimos años y se estima tendrá un crecimiento importante en años venideros. En el gráfico de la imagen 13.47, se muestra la previsión de evolución del sector geotérmico al 2020:

<sup>170</sup>Programa GEOTCASA. Financiación de instalaciones geotérmicas en edificios a empresas habilitadas por IDAE.

La contribución de la aerotermia al cumplimiento de los objetivos al año 2020 se estima en 10,3 ktep, considerando aquellas bombas de calor que cumplan con los requisitos de la Directiva Europea 2009/28/CE [2.15] para considerarse como renovables. Esta estimación se centra en la aplicación principal al sector residencial (.dentro de estas previsiones, quedan incluidas las aportaciones que se pudieran incorporar de proyectos de hidrotermia).



**Imagen 13.47:** Contribución aerotermia, hidrotermia y geotermia en usos térmicos en edificios

**Tabla 13.29:** Objetivos el Plan de Energías Renovables en el sector calefacción y refrigeración. Estimación de la contribución total previsible de cada tecnología de energía renovable.

ktep	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
<b>Energía geotérmica (excluyendo el calor geotérmico de temperatura baja en aplicaciones de bomba de calor)</b>	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	5,2	6,4	7,1	7,9	8,6	9,5
<b>Energía solar térmica</b>	61	159	171	198	229	266	308	356	413	479	555	644
<b>Biomasa:</b>	3.477	3.583	3.617	3.655	3.751	3.884	4.060	4.255	4.469	4.661	4.868	4.950
sólida (incluye residuos)	3.441	3.550	3.578	3.610	3.700	3.827	3.997	4.185	4.392	4.576	4.776	4.850
Biogás (biometano)	36	33	39	45	51	57	63	70	77	85	92	100
Biolíquidos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Energía renovable a partir de bombas de calor (*)</b>	7,6	17,4	19,7	22,2	24,9	28,1	30,8	33,6	37,2	41,2	45,8	50,8
de la cual aerotérmica	4,1	5,4	5,7	6,1	6,4	6,9	7,4	7,9	8,4	9,0	9,7	10,3
de la cual geotérmica	3,5	12,0	14,0	16,1	18,5	21,2	23,4	25,7	28,8	32,2	36,1	40,5
<b>TOTALES</b>	<b>3.549</b>	<b>3.763</b>	<b>3.812</b>	<b>3.879</b>	<b>4.009</b>	<b>4.182</b>	<b>4.404</b>	<b>4.651</b>	<b>4.926</b>	<b>5.189</b>	<b>5.477</b>	<b>5.654</b>
* Esta estimación se centra en la aplicación principal al sector residencial. Dentro de estas previsiones, quedan incluidas las aportaciones que se pudieran incorporar de proyectos de hidrotérmia												

## 14. Anexo II. Descripción de los programas de certificación (PSC)

Se describe en este anexo las propiedades de los programas de certificación, CALENER VyP y GT (vía general), que se utilizan en España para la certificación de edificios. Los programas simplificados, al ser procedimientos derivados de estos, no requieren de más información.

### 14.1. Geometría edificatoria. Demanda energética

La demanda térmica de un edificio se define como la cantidad de calor que hay que extraer (demanda de refrigeración) o suministrar (demanda de calefacción) para mantener la temperatura y humedad del aire de dicho espacio constante e igual a un valor preestablecido.

Esta cantidad de calor dependerá de los flujos de calor que constituyen las ganancias térmicas del edificio. Estas a su vez dependen de la geometría del edificio, de las condiciones exteriores, de los flujos de calor de origen interno y de los valores preestablecidos de consigna de los espacios.

Los edificios se introducen en los programas bajo un sistema de definición tridimensional por lo que se tiene en cuenta:

- Las proyecciones de sombra arrojadas por el propio edificio o por otros edificios u obstáculos cercanos.
- Un cálculo del control de iluminación natural dentro de los espacios. Esto solo en CALENER GT porque incluye la posibilidad simular sistemas de control de iluminación natural.

También se permite definir los edificios adyacentes que proyecten sombra sobre el edificio.

La definición de la composición de los cerramientos opacos del edificio, tanto exterior, como interior, se puede realizar de dos formas diferentes:

- Capa a capa: En este caso se debe decir de que material está compuesta cada una de las capas del cerramiento. Del material hay que definir cuales su espesor, su densidad, su conductividad térmica y su calor específico. Los materiales pueden ser definidos por el usuario o tomados de la base de datos de materiales incluida en los programas (recogidas en el documento reconocido Catalogo de elementos constructivos del Código Técnico de la Edificación [8.12]). En este caso el cerramiento será simulado en transitorio, teniendo en cuenta los efectos de retraso y amortiguamiento que sobre la ganancia o pérdida de calor tiene la inercia térmica de dicho cerramiento.
- Por su transmitancia térmica: Se puede definir de forma simplificada el cerramiento introduciendo solamente la transmitancia térmica del mismo. En este caso el muro se simulará en régimen permanente (se utiliza solo cuando la masa del muro sea pequeña, por ejemplo particiones interiores).

Para los puentes térmicos resultantes de encuentros entre cerramientos no se tendrá en cuenta el efecto sobre los mismos de la radiación solar o de la radiación procedente de las fuentes internas. La transmisión de calor por conducción se supondrá en régimen permanente a través de las transmitancias térmicas lineales.

Las cajas de persiana, cuando formen parte integrante de la ventana y no estén empotradas en la fachada, se considerarán en el apartado de cerramientos semitransparentes como parte del marco, a través de las correcciones oportunas de la transmitancia y el factor solar de dicho marco. En el programa CALENER GT no se pueden considerar los puentes térmicos.

La definición de los huecos (cerramientos semitransparentes) se realiza a través de su vidrio y su marco. Los vidrios pueden definirse a partir de los incluidos en la base de datos de los programas, donde se encuentran los acristalamientos más usuales utilizados en la construcción, o definir el acristalamiento en función de sus parámetros globales (transmitancia térmica, factor solar y transmisividad visible en el caso de CALENER GT). En cuanto al marco hay que definir su porcentaje de área que ocupa dentro del área del hueco, su transmitancia térmica y su color (esta última variable solo utilizada en el caso de que la calificación se realice con CALENER VyP, es decir, la demanda se ha calculado con LIDER).

Durante la simulación los programas CALANER son capaces de simular la reducción de ganancia de calor solar y modificación de la transmitancia térmica del hueco debida a dispositivos de sombra fijos (retranqueos, voladizos y salientes laterales) o temporales (por ejemplo una cortina).

Los huecos pueden colocarse en cerramientos verticales, horizontales o inclinados, permitiendo así la definición de lucernarios.

Los datos meteorológicos horarios han sido generados con CLIMED 1.3 [8.14] a partir de los datos climáticos del Instituto Nacional de Meteorología, para la totalidad de las capitales de provincia<sup>171</sup>, más las ciudades autónomas de Ceuta y Melilla. Los datos climáticos se pueden descargar de la página web del Ministerio de Industria, Turismo y Energía [8.15].

Cada archivo de datos climáticos consta de 8.762 registros, con el siguiente contenido:

- Latitud (grados, positivo hacia el Norte).
- Longitud (grados, positivo hacia el Oeste).
- Altura (metros).

Y para cada una de las 8.762 horas se tiene (los datos se presentan en hora solar):

- Temperatura seca (°C).
- Temperatura de cielo (°C).
- Irradiación directa sobre superficie horizontal (W/m<sup>2</sup>).
- Irradiación difusa sobre superficie horizontal (W/m<sup>2</sup>).
- Humedad absoluta (g/kg<sub>as</sub>).
- Humedad relativa (%).
- Velocidad del viento (m/s).
- Dirección del viento (grados respecto al Norte, positivo desde el Este).
- Azimut solar (grados, negativo hacia el Este).
- Cenit (altura) solar (° grados sexagesimales).

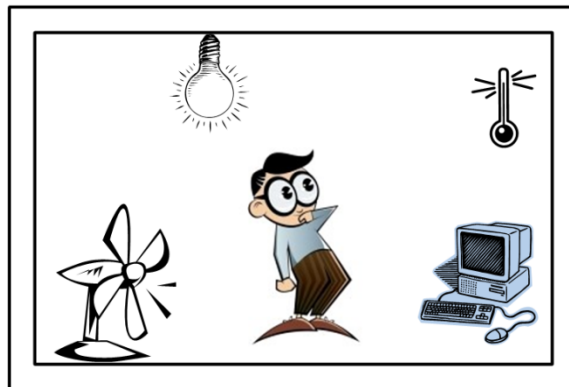
En cada uno de los espacios (posteriores zonas que abastecerán los sistemas) que componen el edificio los programas permiten definir un grupo de propiedades destinadas a la definición de las fuentes internas (características funcionales y ocupacionales). Así, se puede introducir los siguientes parámetros:

- El nivel de ocupación del espacio y su variación temporal: se define así cuántos ocupantes existen en cada hora en el espacio, definiendo el calor latente y sensible (en el programa Ce3 se puede indicar también cuanto del calor sensible es radiante y cuanto convectivo) emitido de media por cada ocupante (no genera la misma cantidad de calor una oficinista que una ama de casa, ni tampoco se producen los máximos valores de calor a la misma hora).

---

<sup>171</sup> Para las localidades que no sean capitales de provincia, se seleccionará la zona climática que corresponda, a partir de la tabla D.1 del apéndice D del CTE DB HE-1. Las simulaciones se llevarán a cabo con el archivo de datos meteorológicos de la localidad genérica correspondiente a dicha zona climática.

- Calor generado por las fuentes internas presentes en dicho espacio y su variación temporal, por ejemplo ordenadores, fotocopiadoras, etc. (generalmente siempre sensible, aunque en CALENER GT puede indicarse que fracción de carga es latente).
- Se puede especificar el tipo iluminación artificial en cada uno de los espacios. Para ello se define el valor máximo de potencia instalada de iluminación (lámpara mas equipo auxiliar) ( $W/m^2$ ) como su variación temporal. También debe especificarse el valor de eficiencia energética de la iluminación (VEEI). Este es un factor que mide la eficiencia energética de una instalación de iluminación y su valor límite está legislado en el CTE DB HE-3. Se expresa en función de los vatios instalados por metro cuadrado para un nivel de iluminación determinado y referenciado a 100 lux. Se mide<sup>172</sup> en  $W/m^2 \cdot 100$  lux. CALENER GT incluye también la posibilidad de definir sistemas de control de la iluminación artificial en función de la natural.
- Se permite también definir las infiltraciones<sup>173</sup> de aire presentes en el espacio, pudiendo introducirse su valor máximo en renovaciones/hora y su variación temporal en el caso del programa CALENER GT y en CALENER VyP este queda definido hora a hora con un balance interno que realiza el programa, de la cantidad de aire que entra y sale del edificio de forma global para determinar la presión interior del edificio suponiendo que el aire que incide en las fachadas expuestas ( la mitad de las definidas) lo hace a una velocidad media de 2 m/s [8.13] . Hay que definir la permeabilidad de los huecos.
- Nivel de ventilación. Este se define solo a nivel de espacios en edificios de viviendas (es decir solo en el programa CALENER VyP), en los demás casos se realiza en la definición de los sistemas.
- Niveles de consigna de los termostatos. Esto solo puede definirse en el programa CALENER GT, en CALENER VyP se toman unos valores que no pueden ser editados.



**Imagen 14.1:** Ganancias internas, ventilación e infiltración en espacios

La simulación se realiza de forma horaria durante un año completo. Muchas de las variaciones horarias descritas los programas CALENER las toman por defecto y no pueden ser modificadas y cuando pueden ser, o bien se deja una alternativa entre varias opciones o pueden crearse por el usuario (esto último sucede solo en el programa CALENER GT y en esta caso siempre propone un valor por defecto).

---

<sup>172</sup> Este índice ayuda a evaluar el proyecto de iluminación energéticamente, ya que al calcular la potencia total instalada por  $m^2$ , en función del nivel de iluminación que se desea conseguir, se tiene en cuenta tanto la eficiencia de las lámparas como las pérdidas de los equipos auxiliares empleados para el funcionamiento de las mismas, en el caso que sean necesarios, así como el factor de utilización de la luminaria elegida, y no sólo su rendimiento. Cuanto más eficiente sea el conjunto menor será el índice de eficiencia energética.

<sup>173</sup> Usualmente, cuando se acondiciona un local con un sistema que impulsa aire en el espacio, dicho espacio se encuentra en sobrepresión siempre que el sistema esté funcionando y, por tanto, las infiltraciones se reducen a un valor mínimo.

Se asume en los programas que el día 1 de enero es lunes, año no bisiesto y no se considerarán las fiestas nacionales, regionales ni locales, distinguiéndose entre tres tipos de días, los laborables los sábados y los festivos (domingos):

CALENARIO POR DEFECTO PARA TODAS LAS DISTRIBUCIONES																							
E N E	L	M	X	J	V	S	D	F E B	L	M	X	J	V	S	D	M A R	L	M	X	J	V	S	D
	1	2	3	4	5	6	7		8	5	6	7	8	9	10		11	5	6	7	8	9	10
8	9	10	11	12	13	14	15	12	13	14	15	16	17	18	12	13	14	15	16	17	18		
15	16	17	18	19	20	21	22	19	20	21	22	23	24	25	19	20	21	22	23	24	25		
22	23	24	25	26	27	28	29	26	27	28					26	27	28	29	30	31			
29	30	31																					
A B R	L	M	X	J	V	S	D	M A Y	L	M	X	J	V	S	D	J U N	L	M	X	J	V	S	D
	2	3	4	5	6	7	8		7	8	9	10	11	12	13		4	5	6	7	8	9	10
9	10	11	12	13	14	15	16	14	15	16	17	18	19	20	11	12	13	14	15	16	17		
16	17	18	19	20	21	22	23	21	22	23	24	25	26	27	18	19	20	21	22	23	24		
23	24	25	26	27	28	29	30	28	29	30	31				25	26	27	28	29	30			
30																							
J U L	L	M	X	J	V	S	D	A G O	L	M	X	J	V	S	D	S E P	L	M	X	J	V	S	D
	2	3	4	5	6	7	8		6	7	8	9	10	11	12		3	4	5	6	7	8	9
9	10	11	12	13	14	15	16	13	14	15	16	17	18	19	10	11	12	13	14	15	16		
16	17	18	19	20	21	22	23	20	21	22	23	24	25	26	17	18	19	20	21	22	23		
23	24	25	26	27	28	29	30	27	28	29	30	31			24	25	26	27	28	29	30		
30	31																						
O C T	L	M	X	J	V	S	D	N O V	L	M	X	J	V	S	D	D I C	L	M	X	J	V	S	D
	1	2	3	4	5	6	7		5	6	7	8	9	10	11		3	4	5	6	7	8	9
8	9	10	11	12	13	14	15	12	13	14	15	16	17	18	10	11	12	13	14	15	16		
15	16	17	18	19	20	21	22	19	20	21	22	23	24	25	17	18	19	20	21	22	23		
22	23	24	25	26	27	28	29	26	27	28	29	30			24	25	26	27	28	29	30		
29	30	31													31								

Días Laborales 261      Horas día 5840  
 Sábados 52      Horas noche 2920  
 Festivos 52

**Imagen 14.2:** Calendario por defecto. Se asume como horario nocturno desde la hora 1 hasta la hora 8 ambas inclusive.

En edificios de viviendas se considera la posibilidad de refrigeración (periodo de verano) los meses de junio, julio, agosto y septiembre, y el resto del año la posibilidad de calefacción (periodo de invierno).

En edificios terciarios y en el caso de que se simulen en CALENER VyP no se considera ningún periodo especial a lo largo del año, la instalación tiene una temperatura de consigna para refrigeración (25°C) y otra de calefacción (20°C) durante las horas de funcionamiento de la instalación, por lo tanto puede necesitarse calefacción o refrigeración en cualquier época del año.

En edificios terciarios y en el caso de que se simulen en CALENER GT no se considera ningún periodo especial a lo largo del año, la instalación tiene una temperatura de consigna para refrigeración y otra de calefacción durante las horas de funcionamiento de la instalación, por lo tanto puede necesitarse calefacción o refrigeración en cualquier época del año. Estos niveles de consigna están definidos por el usuario.

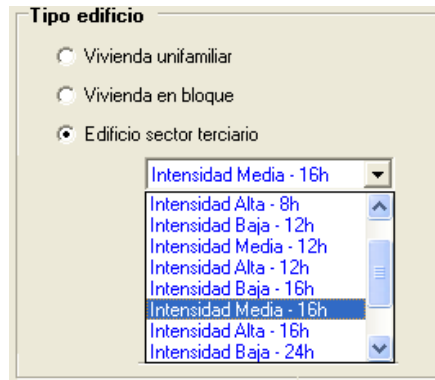
Es importante si se quiere ajustar el consumo simulado al consumo real que estas cantidades se ajusten lo más posible a la realidad (certificación medida según UNE EN 15603 tabla 3.3), puesto que los consumos de los sistemas de calefacción y refrigeración presentes en el edificio dependen mucho de ellas. También es importante considerar que el dimensionado de los sistemas presentes en el edificio debe haber sido hecho por el proyectista de acuerdo con estos valores y que siempre serán capaces de abastecer la demanda.

Se recoge a continuación los valores que los programas toman por defecto para estas variables indicando cuales pueden ser editables.



## 14.2. Características ocupacionales y funcionales

Para definir estas variables se debe especificar el tipo de edificio, ya sea residencial (tanto viviendas unifamiliares o en bloque) o del sector terciario. En este último caso y en el programa CALANER VyP se debe especificar la intensidad de las cargas internas y el horario de utilización para así acotar uno de los posibles horarios que propone el programa para edificios terciarios.



**Imagen 14.3:** Usos horarios predefinidos en CALANER VyP.

En el caso de CALANER GT el programa propone un horario por defecto para cada tipo de edificio terciario y si no se ajusta a lo deseado se puede crear nuevo

Se muestran a continuación la serie de gráficas que representan la ocupación, la carga interna de equipos e iluminación, ventilación y temperaturas de consigna asumidos por el programa. El propósito es conocer los valores por defecto que toma el programa al elegir un uso y ocupación para modelizar su edificio de la forma más exacta posible a la realidad interna del mismo.

Debe notarse que en edificios de viviendas solo existe un valor por defecto (se irán indicando sus valores numéricos cuando se muestre su representación gráfica), y en el sector terciario en el programa CALANER VyP se proponen cuatro perfiles de uso (horario), 8, 12, 16 ó 24 horas con tres tipos de intensidades ( $W/m^2$ ) cada uno, alta, media o baja (que se especifican seguidamente).

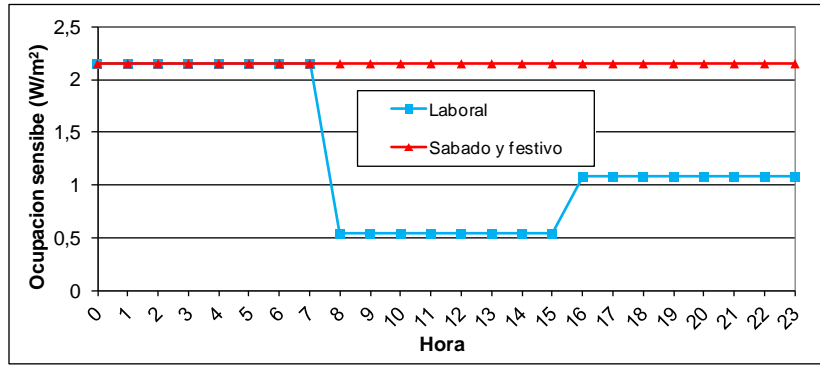
**Tabla 14.1:** Intensidad edificio terciario para todos los horarios (8, 12, 16 y 24h) en CALANER VyP

INTENSIDAD	Ocupación sensible	Ocupación latente	Equipos sensible
	$W/m^2$	$W/m^2$	$W/m^2$
Baja	2	1,26	1,5
Media	6	3,79	5
Alta	10	6,31	7,5

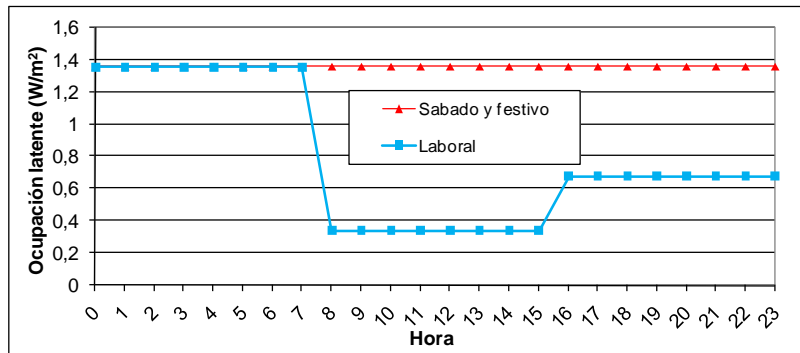
Los horarios que se definen se diferencian en función de que el día sea laborable, sábado o festivo y se muestran en hora oficial. Los horarios de fuentes internas aparecen referenciados desde la hora 0 a la 23. La hora 0 representa una potencia aplicada o una temperatura de consigna o un caudal de ventilación, supuestos constantes en ese valor durante el tiempo que transcurre entre las 0 y la 1, y así sucesivamente.

### 14.2.1. Edificios de viviendas

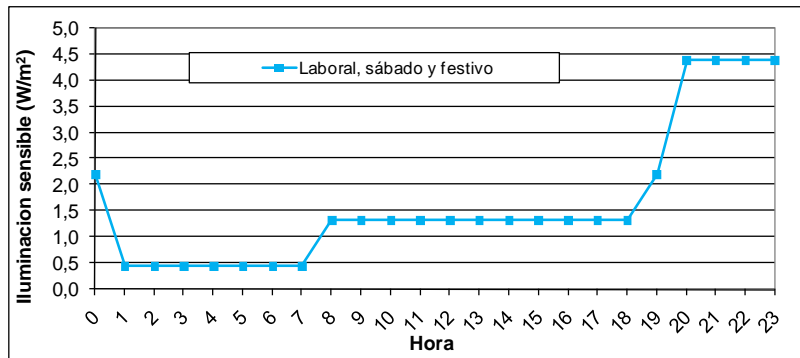
Se reproducen los valores que se toman por defecto para los edificios de viviendas y que no son editables.



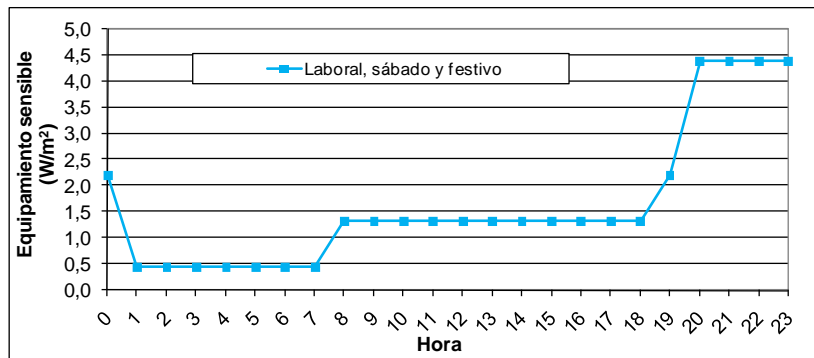
**Imagen 14.4:** Ocupación sensible viviendas. Umbrales 2,15, 1,08 (50%) y 0,54 (25%) W/m<sup>2</sup>



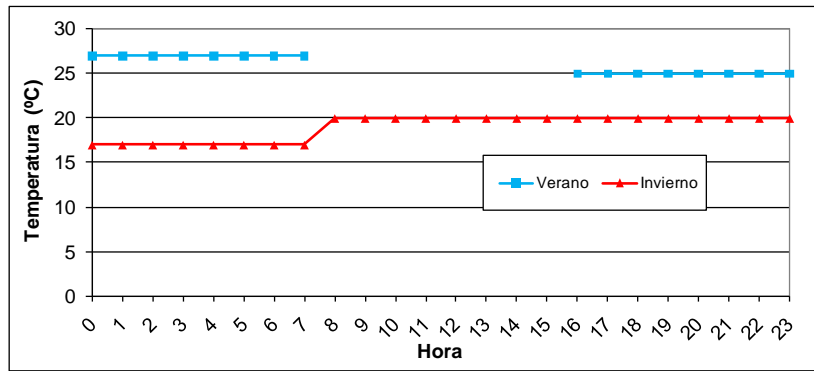
**Imagen 14.5:** Ocupación latente viviendas. Umbrales 1,36, 0,68(50%) y 0,34 (25%) W/m<sup>2</sup>.



**Imagen 14.6:** Carga sensible viviendas iluminación. Toda la potencia térmica aquí representada es sensible (no hay latente). Los valores umbrales son 4,4, 2,2 (50%), 1,32 (30%) y 0,44 (10%) W/m<sup>2</sup>.

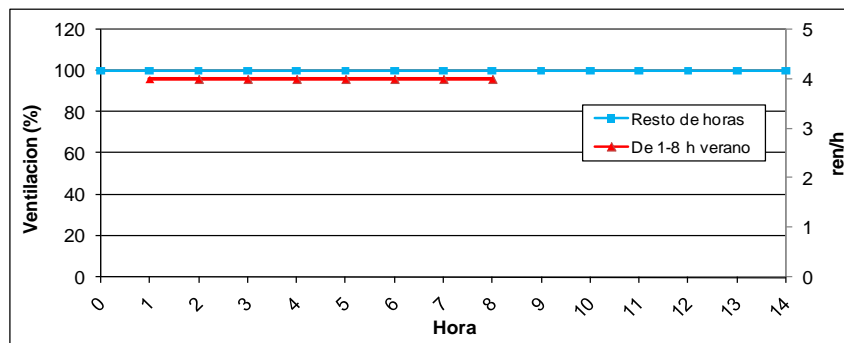


**Imagen 14.7:** Carga sensible viviendas equipos. Toda la potencia térmica aquí representada es sensible (no hay latente). Los valores umbrales son 4,4, 2,2, 1,32 y 0,44 W/m<sup>2</sup>. Se observa que los valores y perfil horario es idéntico al de la iluminación.



**Imagen 14.8:** Temperatura de consigna asumidos en viviendas

Como se puede ver en la imagen 14.8 durante el verano (junio, julio, agosto y septiembre) se especifica una temperatura de consigna alta (el equipo no deja sobrepasar dicha temperatura), el resto del año se especifica una temperatura de consigna baja (el equipo no deja que el recinto baje de dicha temperatura). Como se puede observar en verano la temperatura se deja oscilar libremente entre las 8 y las 15h.



**Imagen 14.9:** Niveles de ventilación asumidos en viviendas

Según la imagen 14.9 en régimen de verano en viviendas (junio, julio, agosto y septiembre), durante el periodo comprendido entre la 24 y las 8 horas, ambas incluidas, se supondrá que los espacios habitables de los edificios destinados a vivienda presentan una infiltración originada por la apertura de ventanas de 4 renovaciones por hora. El resto del tiempo el número de renovaciones hora será constante e igual al impuesto por el usuario (calculado según el procedimiento del CTE DB HS-3).

En los programas se puede tener en cuenta la proyección en sombra que genere elementos temporales sobre los huecos, corrigiendo los factores de transmitancia térmica del hueco y su factor solar por un factor corrector [2.24].

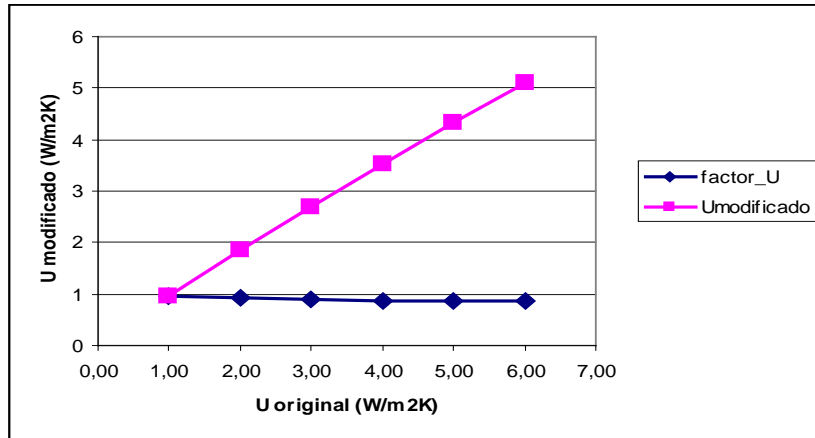
Estos factores de corrección no son aplicables a las persianas integradas en los acristalamientos para los edificios de viviendas a fin de oscurecer el interior, las cuales son tenidas en cuenta de forma automática por el programa, tomando los siguientes valores:

**Tabla 14.2:** Persianas integradas en los acristalamientos

HORARIO PERSIANAS CERRADAS	Modificación de la transmitancia térmica del hueco $U_{\text{modificado}} = U_{\text{original}} * factor_U$	Modificación del factor solar del hueco $g_{\text{modificado}} = g_{\text{original}} * factor_g$
Noche	$factor_U = \frac{0,30}{1 + 0,165 * U_{\text{original}}} + 0,70$	No procede
Día		$factor_g = 0,70$

Se asume como horario nocturno (noche) desde la hora 1 hasta la hora 8 ambas inclusive.

Si se representa el caso de la corrección de la transmitancia se ve que para rangos habituales del factor de transmitancia térmica del hueco, la consideración de la persiana sería la de multiplicar por un factor entorno al 0,9:



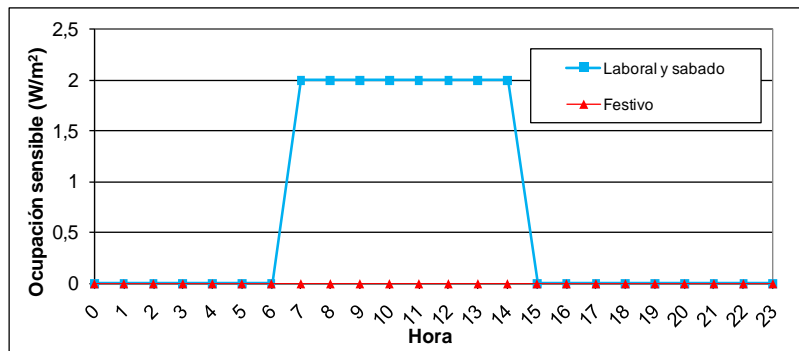
**Imagen 14.10:** Corrección de la transmitancia térmica debida a las persianas integradas en los acristalamientos

## 14.2.2. Edificios terciarios en CALENER VyP

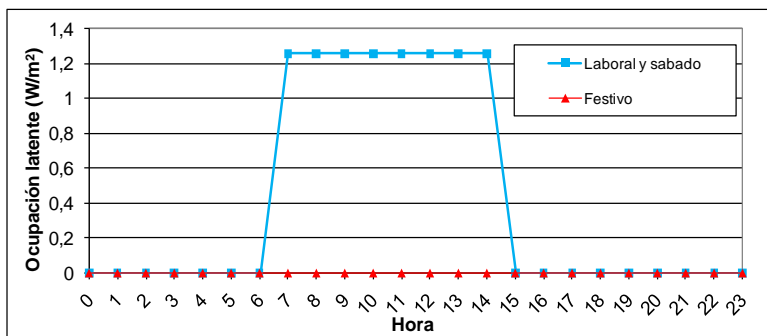
En los edificios terciarios, el programa deja elegir cuatro perfiles de uso de 8h, 12h, 16h y 24 h, para tres intensidades de carga interna diferente, clasificada en baja, media y alta densidad según los niveles de carga de sus fuentes internas.

Se representa los perfiles horarios para una única intensidad (la denominada baja, en las demás se indica que valores toma), ya que su representación gráfica (el horario tipo fracción) es idéntica.

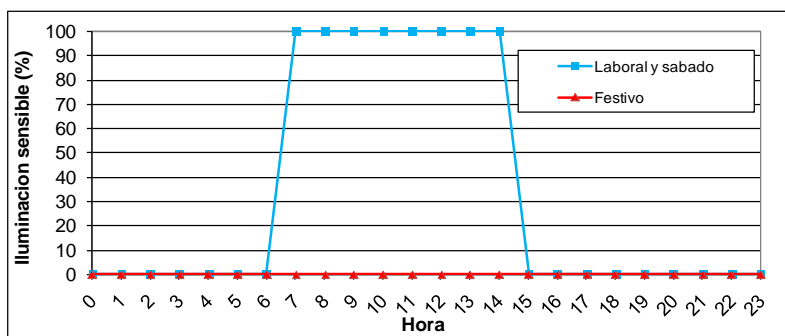
Se empieza mostrando los horarios de ocupación sensible, latente, iluminación, equipamiento, ventilación y consignas de termostatos para un horario de 8 horas, es decir, trabajar desde las 7 horas hasta las 15 horas los días laborables (de lunes a viernes).



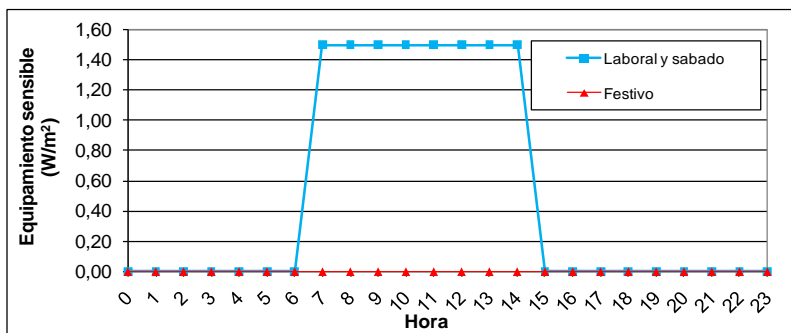
**Imagen 14.11:** Carga sensible terciario ocupación 8h (7-14 h laboral y sábado). Para intensidad baja (la representada) el valor umbral es 2 W/m<sup>2</sup>. Para intensidad media el valor umbral es 6 W/m<sup>2</sup>. Para intensidad alta el valor umbral es 10 W/m<sup>2</sup>



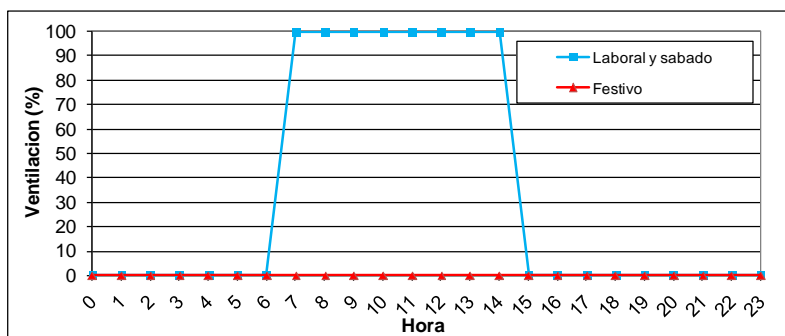
**Imagen 14.12:** Carga latente terciario ocupación 8h (7-14 h laboral y sábado). Para intensidad baja (la representada) el valor umbral es 1,26 W/m<sup>2</sup>. Para intensidad media el valor umbral es 3,79 W/m<sup>2</sup>. Para intensidad alta el valor umbral es 6,31 W/m<sup>2</sup>.



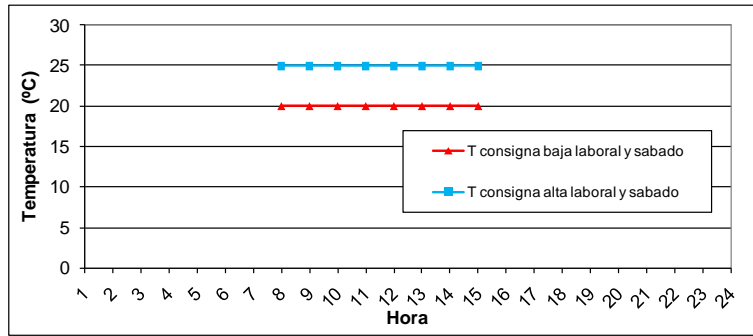
**Imagen 14.13:** Carga sensible terciario iluminación 8h (7-14 h laboral y sábado). Coincide para cualquier intensidad. Como se observa es un horario tipo fracción, que tomará el valor umbral que se especifique en el programa para cada espacio.



**Imagen 14.14:** Carga sensible terciario equipos 8h (7-14 h laboral y sábado). Para intensidad baja (la representada) el valor umbral es 1,5 W/m<sup>2</sup>. Para intensidad media el valor umbral es 5 W/m<sup>2</sup>. Para intensidad alta el valor umbral es 7,5 W/m<sup>2</sup>.

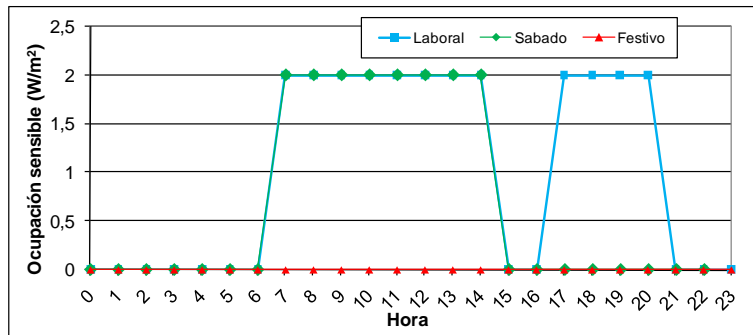


**Imagen 14.15:** Ventilación terciario 8h (7-14 h laboral y sábado). Coincide para cualquier intensidad. Como se distingue es un horario tipo fracción, que tomara el valor umbral que se especifique en el programa para cada espacio como renovaciones/hora (en función de la calidad de aire interior pretendida IDA, según RITE).

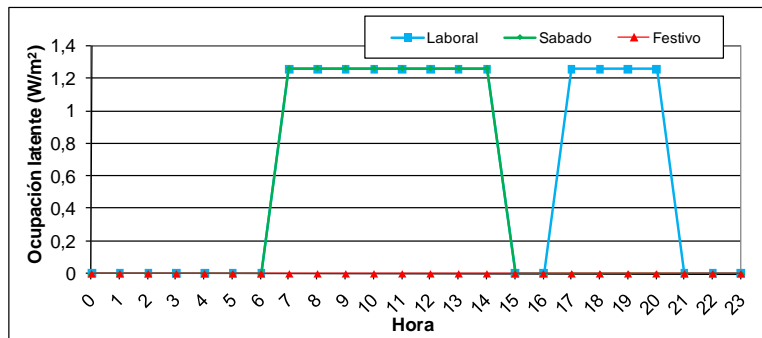


**Imagen 14.16:** Temperatura de consigna asumidos en edificios terciarios en CALENER VyP 8h. En época de invierno, la temperatura de consigna nunca estará por debajo de 20°C, y en época de verano esta nunca superará el valor de 25°C. Coincide para cualquier intensidad

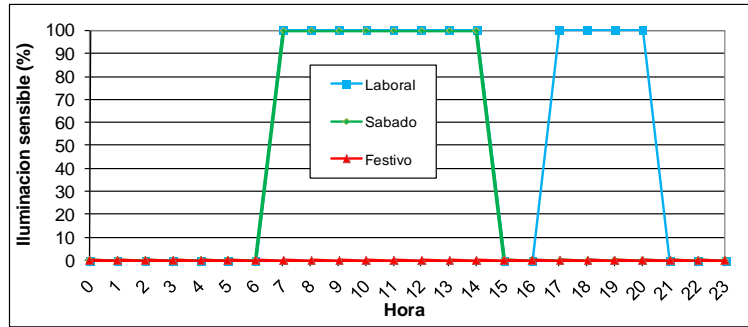
A continuación se muestran los horarios de ocupación sensible, latente, iluminación, equipamiento, ventilación y consignas de termostatos para un horario de 12 horas, es decir, trabajar desde las 7 horas hasta las 15 horas y de 17 horas a 21 horas (jornada partida, descanso para comer de 3 horas) los días laborables (de lunes a viernes) y los sábados horario de mañana de 7 horas hasta las 15 horas.



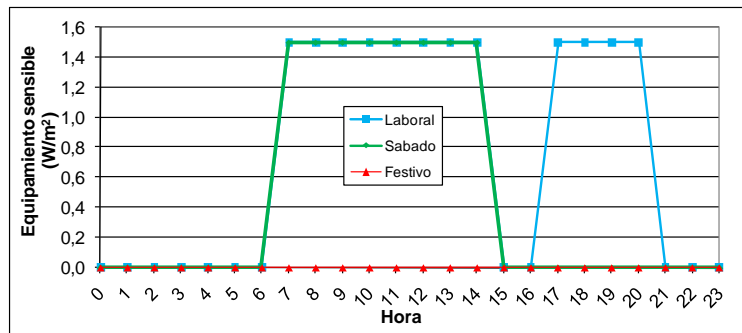
**Imagen 14.17:** Carga sensible terciario ocupación 12h (laboral 7-14h y 17-20h y sábados de 7-14h). Para intensidad baja (la representada) el valor umbral es 2 W/m<sup>2</sup>. Para intensidad media el valor umbral es 6 W/m<sup>2</sup>. Para intensidad alta el valor umbral es 10 W/m<sup>2</sup>



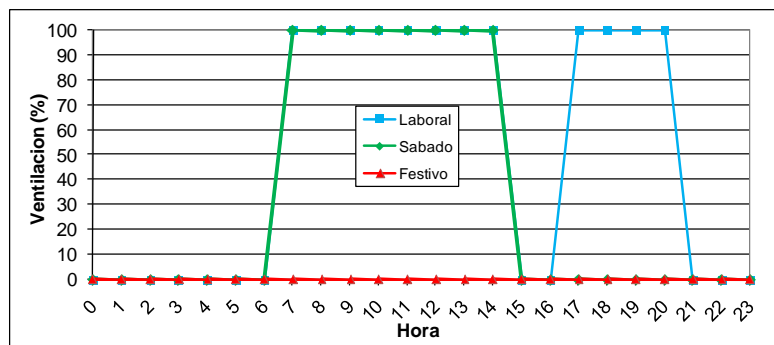
**Imagen 14.18:** Carga latente terciario ocupación 12h (laboral 7-14h y 17-20h y sábados de 7-14h). Para intensidad baja (la representada) el valor umbral es 1,26 W/m<sup>2</sup>. Para intensidad media el valor umbral es 3,79 W/m<sup>2</sup>. Para intensidad alta el valor umbral es 6,31 W/m<sup>2</sup>



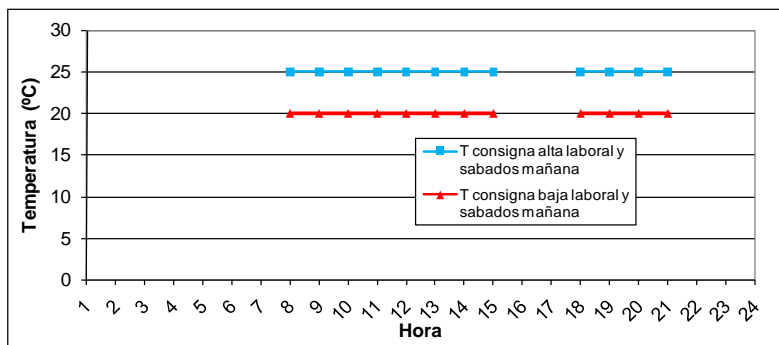
**Imagen 14.19:** Carga sensible terciario iluminación 12h (laboral 7-14h y 17-20h y sábados de 7-14h). Coincide para cualquier intensidad. Como se observa es un horario tipo fracción, que tomara el valor umbral que se especifique en el programa para cada espacio.



**Imagen 14.20:** Carga sensible terciario equipos 12h (laboral 7-14h y 17-20h y sábados de 7-14h). Para intensidad baja (la representada) el valor umbral es  $1,5 \text{ W/m}^2$ . Para intensidad media el valor umbral es  $5 \text{ W/m}^2$ . Para intensidad alta el valor umbral es  $7,5 \text{ W/m}^2$ .

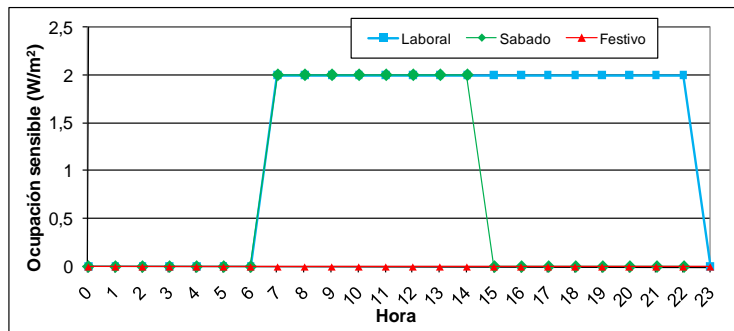


**Imagen 14.21:** Horario ventilación terciario 12h (laboral 7-14h y 17-20h y sábados de 7-14h). Coincide para cualquier intensidad. Es un horario tipo fracción, que tomara el valor umbral que se indique en la opción del programa, dentro de cada espacio, que nos soliciten la ventilación, en ren/h.

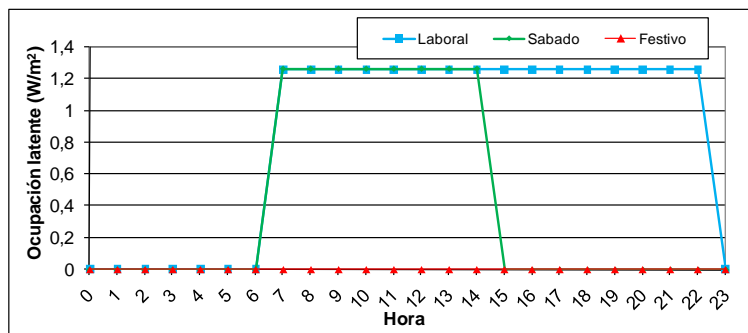


**Imagen 14.22:** Temperatura de consigna asumidos en edificios terciarios en CALENER VyP 12h. En época de invierno, la temperatura de consigna nunca estará por debajo de  $20^\circ\text{C}$ , y en época de verano esta nunca superara el valor de  $25^\circ\text{C}$ . Coincide para cualquier intensidad.

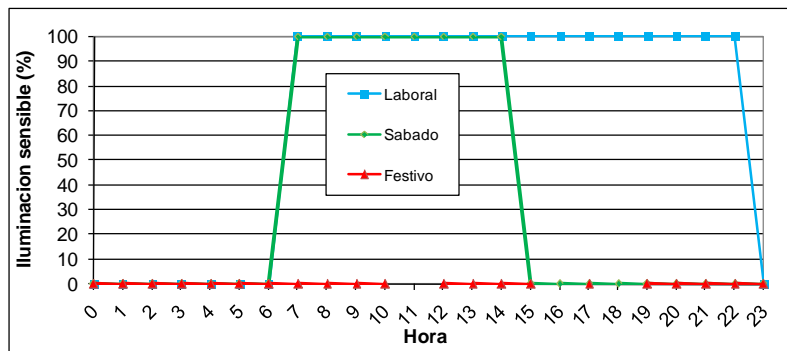
A continuación se muestran los horarios de ocupación sensible, latente, iluminación, equipamiento, ventilación y consignas de termostatos para un horario de 16 horas, es decir, trabajar desde las 7 horas hasta las 22 horas (jornada continua) los días laborables (de lunes a viernes) y los sábados horario de mañana de 7 horas hasta las 15 horas.



**Imagen 14.23:** Carga sensible terciario ocupación 16h (7-22 h laboral y sábado 7-14h). Para intensidad baja (la representada) el valor umbral es 2 W/m<sup>2</sup>. Para intensidad media el valor umbral es 6 W/m<sup>2</sup>. Para intensidad alta el valor umbral es 10 W/m<sup>2</sup>.

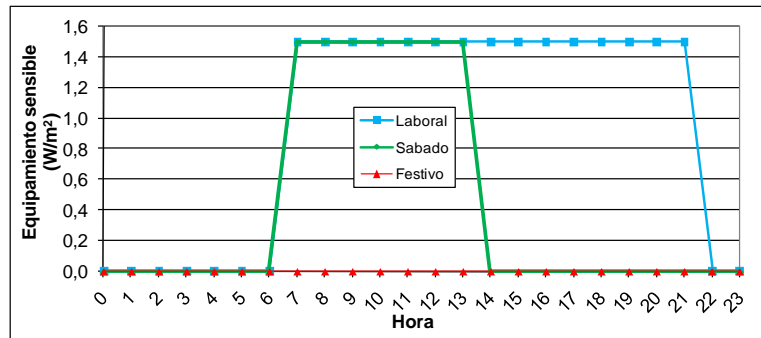


**Imagen 14.24:** Carga latente terciario ocupación 16h (7-22 h laboral y sábado 7-14h). Para intensidad baja (la representada) el valor umbral es 1,26 W/m<sup>2</sup>. Para intensidad media el valor umbral es 3,79 W/m<sup>2</sup>. Para intensidad alta el valor umbral es 6,31 W/m<sup>2</sup>.

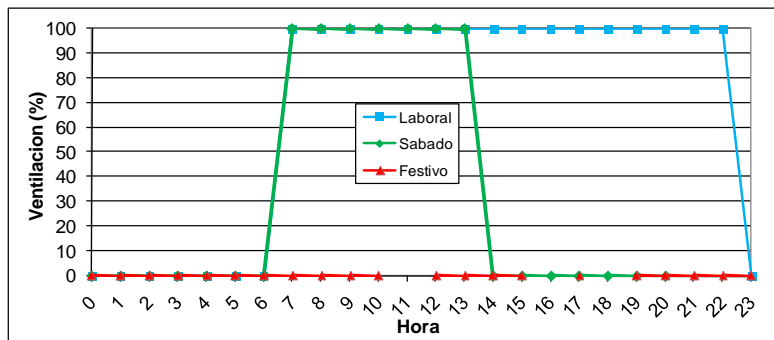


**Imagen 14.25:** Carga sensible terciario iluminación 16h (7-22 h laboral y sábado 7-14h). Coincide para cualquier intensidad. Como se advierte es un horario tipo fracción, que tomara el valor umbral que se indique en la opción del programa, dentro de cada espacio, que nos soliciten la potencia instalada en iluminación.

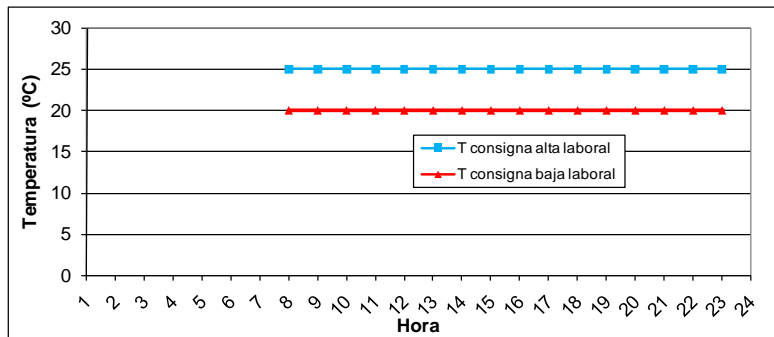




**Imagen 14.26:** Carga sensible terciario equipos 16h (7-22 h laboral y sábado 7-14h). Para intensidad baja (la representada) el valor umbral es 1,5 W/m<sup>2</sup> Para intensidad media el valor umbral es 5 W/m<sup>2</sup> Para intensidad alta el valor umbral es 7,5 W/m<sup>2</sup>

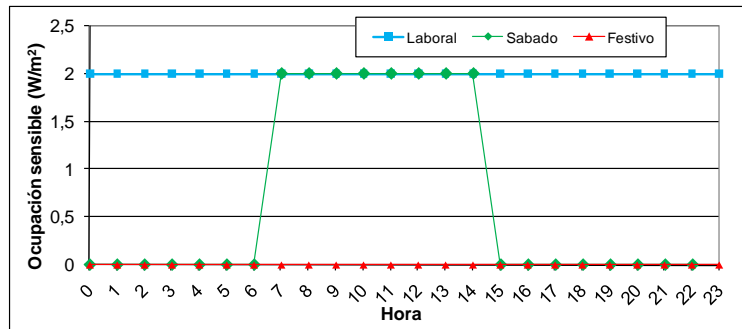


**Imagen 14.27:** Nivel de ventilación terciario 16h (7-22 h laboral y sábado 7-14h). Coincide para cualquier intensidad. Como se nota es un horario tipo fracción, que tomara el valor umbral que se indique en la opción del programa, dentro de cada espacio, que nos soliciten la ventilación, en ren/h.

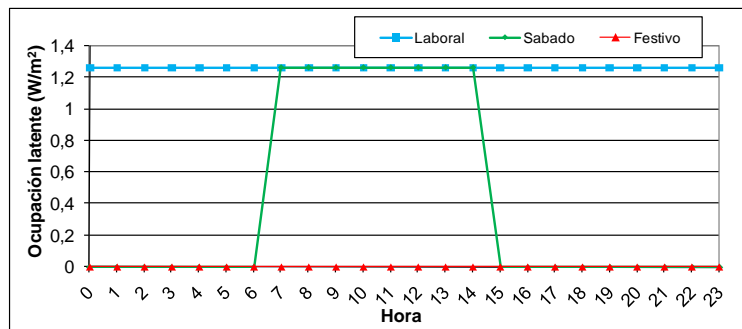


**Imagen 14.28:** Temperatura de consigna asumidos en edificios terciarios en CALENER VyP 16h. Los sábados sólo se leen las horas que van desde las 7 a las 15 h. En época de invierno, la temperatura de consigna nunca estará por debajo de 20°C, y en época de verano esta nunca superara el valor de 25°C. Coincide para cualquier intensidad

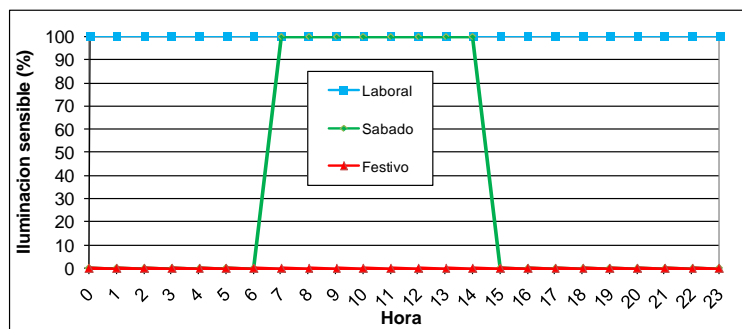
A continuación se muestran los horarios de ocupación sensible, latente, iluminación, equipamiento, ventilación y consignas de termostatos para un horario de 24 horas, es decir, jornada continua turnos los días laborables (de lunes a viernes) y los sábados horario de mañana de 7 horas hasta las 15 horas.



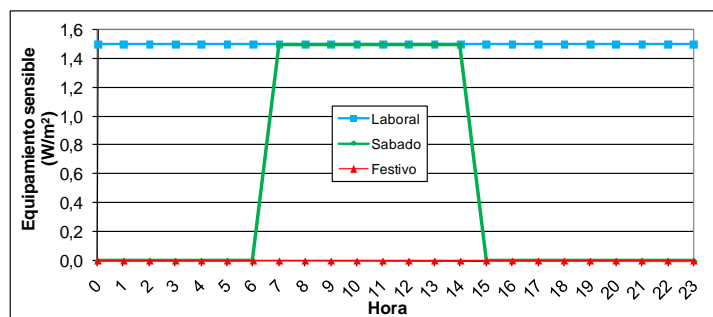
**Imagen 14.29:** Carga sensible terciario ocupación 24h (0-23 h laboral y sábado 7-14h). Para intensidad baja (la representada) el valor umbral es  $2 \text{ W/m}^2$ . Para intensidad media el valor umbral es  $6 \text{ W/m}^2$ . Para intensidad alta el valor umbral es  $10 \text{ W/m}^2$



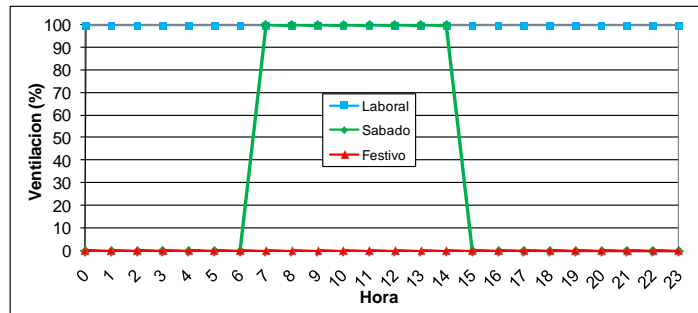
**Imagen 14.30:** Carga latente terciario ocupación 24h (0-23 h laboral y sábado 7-14h). Para intensidad baja (la representada) el valor umbral es  $1,26 \text{ W/m}^2$ . Para intensidad media el valor umbral es  $3,79 \text{ W/m}^2$ . Para intensidad alta el valor umbral es  $6,31 \text{ W/m}^2$



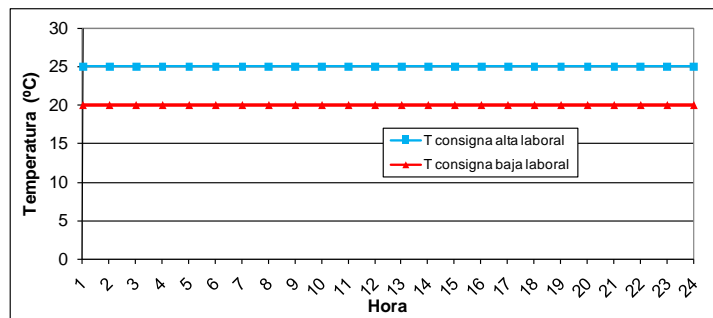
**Imagen 14.31:** Iluminación terciario 24h (0-23 h laboral y sábado 7-14h). Coincide para cualquier intensidad. Como se ve es un horario tipo fracción, que tomara el valor umbral que se indique en la opción del programa, dentro de cada espacio, que nos soliciten la potencia instalada en iluminación



**Imagen 14.32:** Carga sensible terciario equipos 24h (0-23 h laboral y sábado 7-14h). Para intensidad baja (la representada) el valor umbral es  $1,5 \text{ W/m}^2$ . Para intensidad media el valor umbral es  $5 \text{ W/m}^2$ . Para intensidad alta el valor umbral es  $7,5 \text{ W/m}^2$



**Imagen 14.33:** Ventilación terciario ocupación 24h (0-23 h laboral y sábado 7-14h). Coincide para cualquier intensidad. Como se percibe es un horario tipo fracción, que tomara el valor umbral que se indique en la opción del programa, dentro de cada espacio, que nos soliciten la ventilación, en ren/h.



**Imagen 14.34:** Temperatura de consigna asumidos en edificios terciarios en CALENER VyP 24h. Los sábados sólo se leen las horas que van desde las 7 a las 15 h. En época de invierno, la temperatura de consigna nunca estará por debajo de 20°C, y en época de verano esta nunca superara el valor de 25°C. Coincide para cualquier intensidad

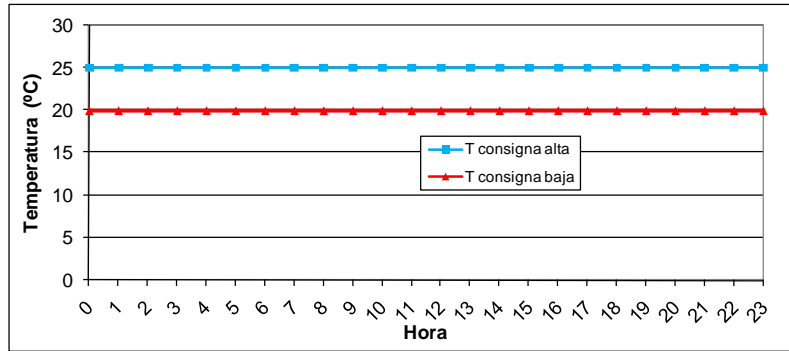
### 14.2.3. Edificios terciarios en CALENER GT

Se exponen a continuación los horarios que por defecto se pueden cargar en el programa CALENER GT que representan los datos ocupacionales y operacionales del edificio. Existen 7 tipos de horarios que se pueden cargar de la base de datos del programa en función del uso de los espacios. Se exponen a continuación sólo los referentes a viviendas<sup>174</sup>.

El cálculo de la demanda térmica que tienen que abastecer los edificios, si se acepta los valores que por defecto asume el programa para los horarios de termostato de las zonas, es continuo para las 24 horas y todos los días tomando los valores que muestra la imagen 14.35.

El cálculo de la demanda como, se aprecia, se realiza con una temperatura de consigna diferente al CALENER VyP pero al ser esta editable podría ajustarse a los valores de CALENER VyP (aun así los valores de demanda estimados no tienen que salir los mismos por cuanto sus motores de cálculo, ESTO 2 y DOE 2.2 respectivamente, son diferentes).

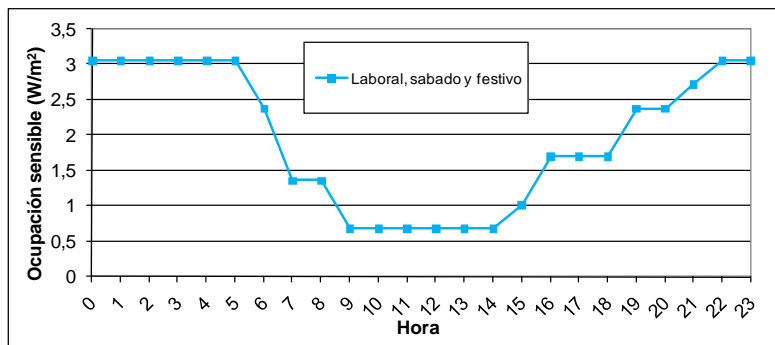
<sup>174</sup> Aunque legislativamente el programa sólo sirve para calificar edificios terciarios, nunca de viviendas, si que se puede estimar el consumo de energía de viviendas en este programa.



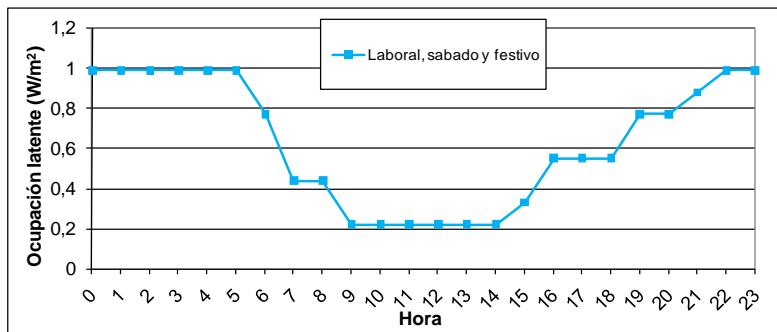
**Imagen 14.35:** Temperatura de consigna asumidos en edificios terciarios en CALENER GT. En época de invierno, la temperatura de consigna nunca estará por debajo de 20°C, y en época de verano esta nunca superará el valor de 25°C. Coincide para cualquier intensidad

El programa CALENER GT basa la calificación de la demanda energética de calefacción y refrigeración del edificio en base a una temperatura constante (20°C) para todo el año (sin ninguna parada) de todos los espacios del edificio.

Se muestran a continuación los horarios tipo fracción (que porcentaje sobre un máximo definido toma una variable hora a hora) que por defecto toma el programa para los usos establecidos de vivienda (recordar que estos se pueden editar).



**Imagen 14.36:** Carga sensible vivienda. Valor umbral máximo es 3,06y mínimo 0,68 W/m<sup>2</sup>.



**Imagen 14.37:** Carga latente vivienda. Valor umbral máximo es 0,99y mínimo 0,22 W/m<sup>2</sup>. Aproximadamente el 33% de los valores de carga sensible.

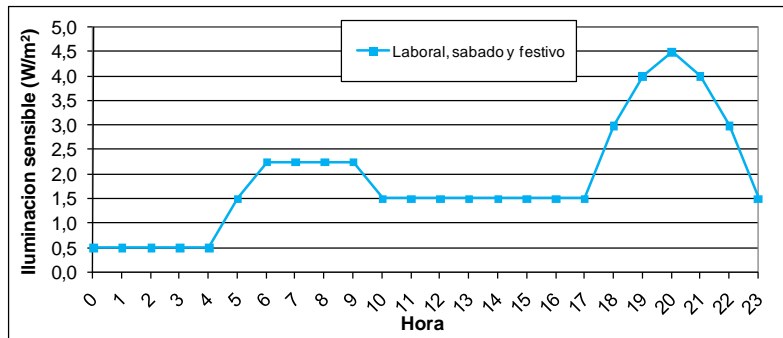


Imagen 14.38: Iluminación vivienda. Valor umbral máximo es 4,5y mínimo 0,5 W/m<sup>2</sup>.

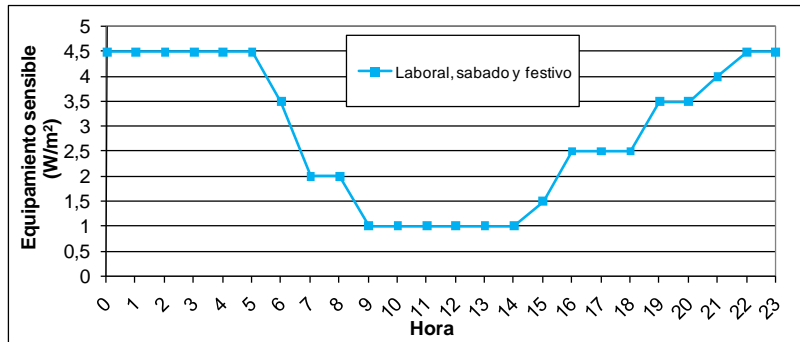


Imagen 14.39: Carga sensible equipamiento viviendas. Umbral máximo 4,5y mínimo 1 W/m<sup>2</sup>.

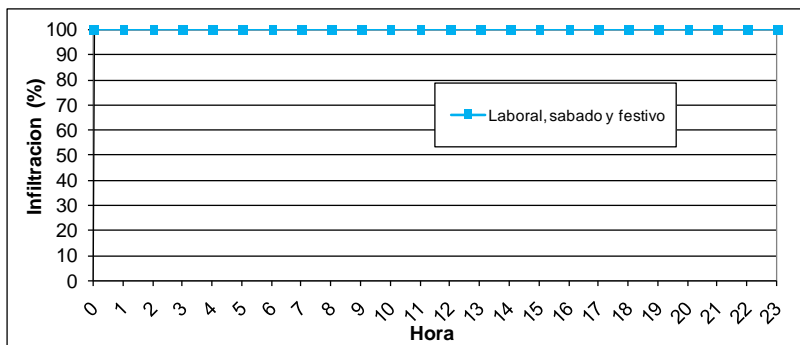


Imagen 14.40: Infiltración viviendas.

### 14.3. Demanda de agua caliente sanitaria

En el programa CALENER VyP la demanda de agua caliente sanitaria se obtiene a partir de la demanda diaria y una distribución horaria diaria que por defecto toma el programa y no se puede modificar. Esta se muestra en la siguiente figura:

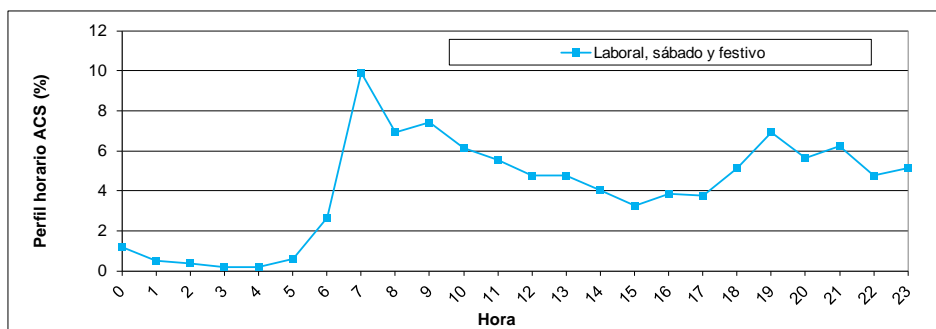


Imagen 14.41: Perfil horario de ACS en viviendas

Para conocer en una hora la demanda de ACS considerado se multiplicaría la demanda diaria por el porcentaje horario mostrado en la anterior imagen.

La demanda anual de energía correspondiente a agua caliente sanitaria (kWh/m<sup>2</sup>año) (m<sup>2</sup> de superficie acondicionada) el programa la obtiene a partir de la expresión:

$$Q_{ACS} = 365 \cdot \rho_{ag} \cdot C_{p,ag} \cdot V_{ACS}(T_{rfr}) \cdot (T_{rfr} - T_{ag,red}) \cdot \frac{1}{3.600} \quad 14-1$$

Donde:

- $Q_{ACS}$  Demanda diaria de energía para ACS (kWh/ m<sup>2</sup>año)
- $\rho_{ag}$  Densidad del agua (kg/litro): Se tomará igual a la unidad, 1 kg/litro
- $C_{p,ag}$  Calor específico del agua (kJ/kgK): Se tomará igual a 4,18 kJ/kgK.
- $T_{rfr}$  Temperatura de referencia (°C): Se tomará por defecto igual a 60 °C.
- $T_{ag,red}$ : Temperatura media anual de agua fría (°C). Se calcula como la media ponderada de las temperaturas diarias medias mensuales de agua fría, tal y como aparecen recogidas en la norma UNE EN 94 002:2005. Ver anexo III.
- $V_{ACS}(T_{rfr})$  Consumo de agua caliente sanitaria a una temperatura de referencia (litros/m<sup>2</sup>día): Obtenidos a partir del CTE-HE4 y de la superficie acondicionada del edificio.

Los datos de consumo de agua se obtienen del CTE-HE-4<sup>175</sup>, que dan el consumo volumétrico de agua a 60°C.<sup>176</sup>

**Tabla 14.3:** Criterio de consumo de ACS para diseño instalaciones

TIPO EDIFICIO	Litros/día a 60°C	
	<b>Viviendas Unifamiliares</b>	30
<b>Viviendas Multifamiliares</b>	22	por persona[1]
<b>Hospitales y Clínicas</b>	55	por cama
<b>Hotel 4*</b>	70	por cama
<b>Hotel 3*</b>	55	por cama
<b>Hotel/Hostal 2*</b>	40	por cama
<b>Hostal/Pensión 1*</b>	35	por cama
<b>Camping</b>	40	por emplazamiento
<b>Residencias (ancianos, estudiantes, etc.)</b>	55	por cama
<b>Vestuarios/Duchas Colectivas</b>	15	por servicio
<b>Escuela</b>	3	por alumno
<b>Cuarteles</b>	20	por persona
<b>Fabricas y Talleres</b>	15	por persona
<b>Administrativos</b>	3	por persona
<b>Gimnasios</b>	20 a 25	por usuario
<b>Lavanderías</b>	3 a 5	por kg de ropa
<b>Restaurantes</b>	5 a 10	por comida
<b>Cafeterías</b>	1	por almuerzo

[1] Consultar el número de personas por dormitorio. Tabla 14.4.

<sup>175</sup> En el caso de definir un edificio residencial este valor está asignado por defecto

<sup>176</sup> Esta es la temperatura de impulsión que el programa toma por defecto

Y con la tabla 14.4 se puede estimar el número de personas por dormitorio

**Tabla 14.4:** Estimación del número de personas en función del número de dormitorios de la vivienda

<b>Nº DE DORMITORIOS</b>	1	2	3	4	5	6	7	> 7
<b>Nº DE PERSONAS</b>	1,5	3	4	6	7	8	9	Nº Dormitorios

Para el caso de que se elija una temperatura final diferente de 60 °C (temperatura de referencia), el consumo a considerar a efectos de cálculo, según la temperatura elegida, será la que se obtenga a partir de las siguientes expresiones:

$$V_{ACS}(T_{rfr}) = \sum_1^{12} V_{ACS,i}(T_{rfr}) \tag{14-2}$$

$$V_{ACS,i}(T_{rfr}) = V_{ACS}(T_{rfr} = 60^{\circ}C) \cdot \frac{60 - T_{ag,red}}{T_{rfr} - T_{ag,red}} \tag{14-3}$$

donde,

- $V_{ACS}(T_{rfr})$  Consumo de agua caliente sanitaria anual a la temperatura  $T_{rfr}$  elegida.
- $V_{ACS,i}(T_{rfr})$  Consumo de agua caliente sanitaria para el mes  $i$  a la temperatura  $T_{rfr}$  elegida.
- $V_{ACS}(T_{rfr}=60^{\circ}C)$  Consumo de agua caliente sanitaria para el mes  $i$  a la temperatura de 60 °C.
- $T_{rfr}$  Temperatura del acumulador final.
- $T_{ag,red}$  Temperatura media del agua fría en el mes  $i$ .

Es decir la demanda energética es la misma, simplemente se modifica el consumo de agua según la temperatura de referencia elegida.

Para obtener el consumo total diario de agua por metro cuadrado, valor que pide el programa, el cálculo es bien sencillo, hay que ver la relación que existe entre los metros cuadrados del edificio y la unidad que está tabulada en la tabla 14.3.

**Imagen 14.42:** Datos para la demanda de ACS en VyP

En el caso de viviendas, ya sean unifamiliares o en bloque, estos valores se los asigna por defecto el programa, pues son todos conocidos. El consumo unitario diario medio de agua caliente sanitaria asociado a una temperatura de referencia de 60 °C, según la tabla 14.3 es de:

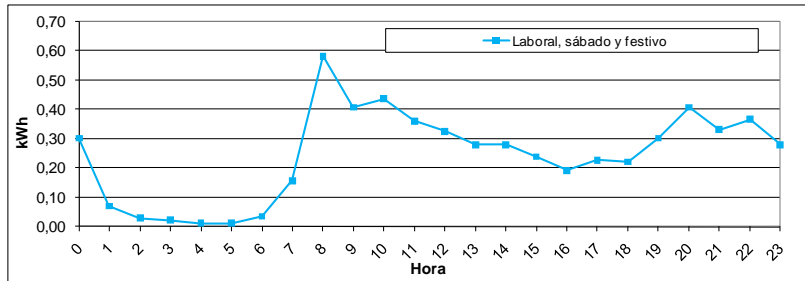
- 30 litros por persona y día en el caso de viviendas unifamiliares.
- 22 litros por persona y día en el caso de viviendas en bloque (multifamiliares).

Para expresar el caudal como “consumo diario medio por metro cuadrado”, se considerará que el ratio de personas por metro cuadrado que ocupan una vivienda es independiente del tipo de vivienda e igual a 0,03 personas por metro cuadrado de superficie útil.

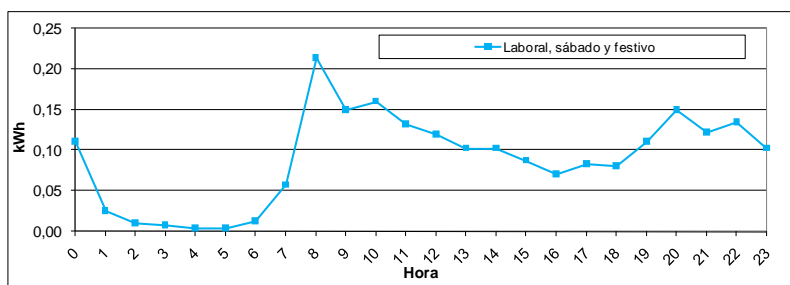
$$Q_{ACS,unifamiliar} = 30 \frac{l}{persona \cdot dia} \cdot 0,03 \frac{persona}{m^2} = 0,9 \frac{l}{m^2 \cdot dia} \tag{14-4}$$

$$Q_{ACS, bloque} = 22 \frac{l}{persona \cdot dia} \cdot 0,03 \frac{persona}{m^2} = 0,66 \frac{l}{m^2 \cdot dia} \quad 14-5$$

Se representa gráficamente el consumo para el caso de una vivienda unifamiliar de 120 m<sup>2</sup> y una vivienda en bloque de 60 m<sup>2</sup> con una temperatura de agua de red fija de 13°C.



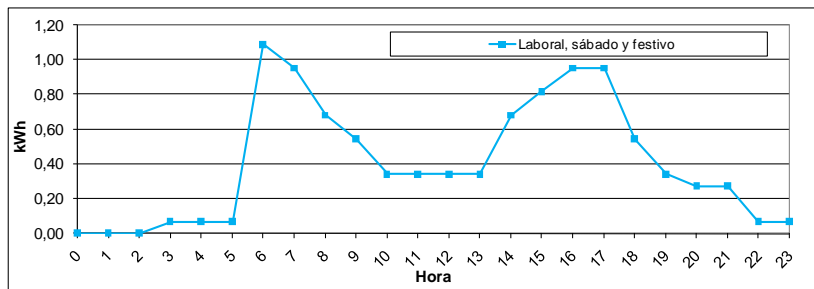
**Imagen 14.43:** Demanda ACS ( $Q_{ACS}$ ) vivienda unifamiliar de 120 m<sup>2</sup>. Total 5,9 kWh/día.



**Imagen 14.44:** Demanda ACS ( $Q_{ACS}$ ) vivienda en bloque de 60 m<sup>2</sup>. Total 2,2 kWh/día.

Si en la instalación se prevé una demanda de ACS superior a lo legislado por el CTE se introducirá el valor real.

En el caso del programa CALENER GT el procedimiento es igual salvo que el perfil horario se puede editar por el usuario (nivel horario fracción) asumiendo por defecto el siguiente:



**Imagen 14.45:** Demanda ACS ( $Q_{ACS}$ ) vivienda por defecto en CALENER GT. Total 9,8 kWh/día.

## 14.4. Definición de sistemas en CALENER VyP

Los sistemas de climatización (generadores térmicos, impulsores de fluidos y baterías) se pueden simular en función de su estado actual horario, es decir, se puede tener en cuenta el hecho de que no trabajan siempre en las condiciones nominales expresadas por los fabricantes, que se dan en una situación horaria definida (ver anexo II apartado 14.6 *Condiciones nominales*).

Para conocer el comportamiento de dichos sistemas en cualquier condición se determinan los factores de corrección, también conocidos como curva de comportamiento, que el programa utiliza para la simulación de los equipos que constituyen los sistemas de climatización. Estas curvas son función del estado de carga (cociente entre el valor de demanda actual, horario, y el valor máximo de energía que puede entregar el sistema (equipo) en esa hora) del equipo en



cuestión y las condiciones de operación (propiedades, generalmente la temperatura) de los fluidos.

En simulación de instalaciones de climatización es habitual aceptar una separación de variables entre condiciones de operación y estado de carga para formular estas curvas correctoras.

En ningún caso se están teniendo en cuenta las pérdidas térmicas del sistema. Por ejemplo, según las normas CEN (capítulo 6) en el caso del servicio de calefacción hay que considerar el consumo energético en los subsistemas de distribución y control así como sus pérdidas térmicas y no se realiza así en la actualidad en los programas.

A continuación se especifican las variaciones con respecto a las condiciones nominales que el programa CALENER VyP toma por defecto, empezando a describir que tipo y de qué forma se pueden definir los sistemas en CALENER VyP.

Los sistemas de calefacción y/o refrigeración en CALENER VyP se pueden clasificar como sistemas unizona y multizona.

El sistema unizona está basado en un único equipo que abastece a cada espacio (zona), por lo tanto únicamente se debe definir dicho equipo (uno en cada espacio acondicionado). Los predefinidos son:

- Calefacción eléctrica.
- Aire-aire sólo frío (refrigeración sólo, con equipos de compresión mecánica eléctrica).
- Aire-aire bomba de calor (calefacción y refrigeración mediante equipos de compresión mecánica eléctrica).
- Equipo indeterminado definido por el rendimiento medio estacional conocido (con este elemento se puede, en realidad, definir cualquier tipo de equipo/sistema, no obstante es necesario determinar el rendimiento medio estacional del equipo en ese edificio y localidad).

Los sistemas multizona están basados en un equipo que abastece a varios espacios (en el caso extremo pudiera ser uno sólo), por lo que se debe definir el equipo y unidades terminales. Los equipos contemplados son:

- Calderas (eléctrica o combustible).
- Equipos autónomos con conductos (sólo frío o bomba de calor, con o sin recuperador, con o sin enfriamiento gratuito (free-cooling)).
- Equipos de expansión directa (sólo frío o bomba de calor, con o sin recuperador) (Unidad exterior).

Y las unidades terminales que en cada espacio se pueden definir son:

- De agua caliente (radiadores,...).
- De impulsión de aire (difusores,...).
- De expansión directa (Unidad interior refrigerante).

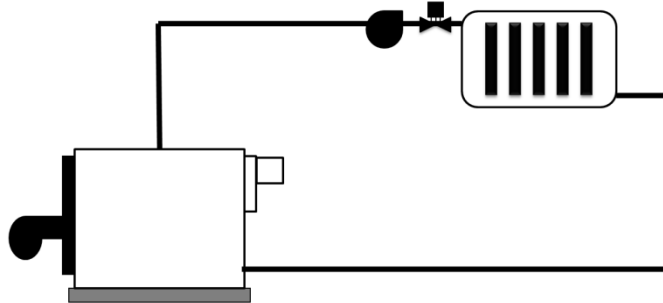
Se describe el sistema multizona constituido por la caldera como equipo generador y radiador como unidad terminal que es el analizado en el presente estudio doctoral.

Los equipos son los objetos representativos en la descripción de los sistemas de acondicionamiento, calefacción, refrigeración, y agua caliente sanitaria y los únicos en los que se tiene en cuenta la variación horaria de sus prestaciones.

Con el equipo caldera se definen todos los equipos que producen agua caliente para calefacción (sistema multizona, mediante radiadores como elemento terminal en cada espacio tratado) o

para uso sanitario (ACS), usando como fuente de energía un combustible o mediante la disipación de calor por efecto Joule<sup>177</sup>.

La caldera es el equipo en el que se calienta agua, por medio de la combustión de un combustible o de energía eléctrica, que luego se distribuirá por los emisores mediante una red de tuberías.



**Imagen 14.46:** Sistema de caldera más radiadores

Atendiendo a lo especificado en la Directiva 92/42/CEE relativa a los requisitos de rendimiento para calderas de gas o gasóleo, se pueden clasificar dentro del equipo calderas las siguientes:

- CALDERA ESTÁNDAR
- CALDERA DE BAJA TEMPERATURA
- CALDERA DE CONDENSACIÓN

La simulación de estos equipos tanto para calefacción como para ACS contempla la modificación de:

- Potencia calorífica (capacidad) debido a variación de la temperatura de impulsión ( $T_{imp}$ )
- Rendimiento del equipo (y consecuentemente del consumo de combustible) debido a la temperatura de impulsión y al funcionamiento a carga parcial (en potencia y/o tiempo).

Para este tipo de equipos se define el factor de carga parcial de calefacción ( $fcp_{CLF,\phi}$ ) como la demandada energética del edificio en cada hora del edificio dividida por la máxima potencia que puede compensar el equipo en las condiciones de esa hora.

$$fcp_{CLF,\phi,h} = \frac{Q_{CLF,h}}{\phi_{CLF,gnr,h}} \quad 14-6$$

El  $fcp_{CLF,t}$  es el factor de carga parcial en tiempo, definido este como la fracción de hora en la que el equipo estuvo funcionando ( $t_{CLF,ON} \leq 1$  hora).

$$fcp_{CLF,t,h} = \frac{t_{CLF,ON,h}}{t_{CLF,ON-OFF,h}} = \frac{t_{CLF,ON,h}}{1} \quad 14-7$$

La potencia de la caldera en cada instante, tanto para calefacción como para ACS, en función de la temperatura de impulsión se expresa como:

$$\phi_{CLF,gnr,h} = \phi_{CLF,gnr,Pn} \cdot \phi_{CLF,gnr,Pn}(T_{CLF,imp,gnr}) \quad 14-8$$

donde

- $\Phi_{CLF,gnr,h}$  Potencia calorífica en el instante h ( hora) (kW)
- $\Phi_{CLF,gnr,Pn}$  Potencia calorífica nominal<sup>178</sup> (kW) (Capacidad nominal)

<sup>177</sup>Con esto se puede definir un termo eléctrico que se simula con una caldera eléctrica más un acumulador (2 equipos para CALENER V y P).

<sup>178</sup> RD 275/1995: **Potencia Nominal Útil:** Potencia calorífica máxima que, según determine y garantice el fabricante, puede suministrarse en funcionamiento continuo, ajustándose a los rendimientos útiles declarados por el fabricante.

- $\Phi_{CLF,gnr,Pn}(T_{CLF,gnr,imp})$  Factor de corrección de la capacidad con la temperatura del agua en la impulsión (su valor por defecto es uno). Por lo tanto en la realidad no se realiza por defecto ninguna corrección.

El rendimiento y el consumo energético se modeliza matemáticamente con las siguientes expresiones:

$$\eta_{CLF,gnr,h} = \eta_{CLF,gnr,Pn} \cdot \eta_{CLF,gnr,Pn}(T_{CLF,gnr,imp}) \cdot \eta_{CLF,gnr,Pn}(fcp_{CLF,\phi,h}) \cdot \eta_{CLF,gnr,Pn}(fcp_{CLF,t,h}) \quad 14-9$$

$$Q_{CLF,gen} = \frac{\phi_{CLF,gnr,h}}{\eta_{CLF,gnr,h}} = \phi_{CLF,gnr,h} \cdot \frac{1}{\eta_{CLF,gnr,h}} \quad 14-10$$

donde:

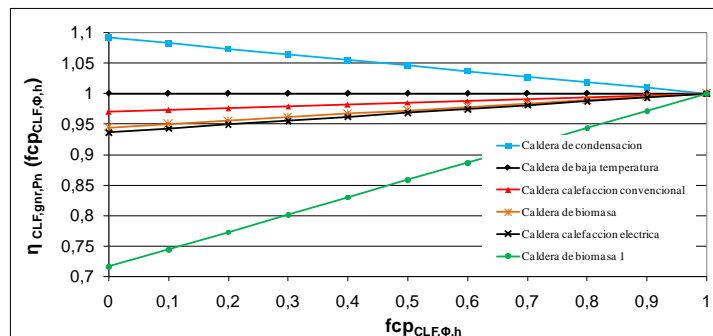
- $\eta_{CLF,gnr,h}$  Rendimiento del generador en el instante h (hora).
- $\eta_{CLF,gnr,Pn}$  Rendimiento nominal<sup>179</sup>.
- $Q_{CLF,gen}$  Consumo energético de la caldera.

Los demás factores influyentes en la ecuación se analizan a continuación en función de que el equipo de servicio de calefacción o agua caliente sanitaria. Si el equipo está destinado a uso de calefacción.

- $\eta_{CLF,gnr,Pn}(T_{CLF,gnr,imp})$  Factor de corrección del rendimiento con la temperatura del agua en la impulsión (su valor por defecto es uno).
- $\eta_{CLF,gnr,Pn}(fcp_{CLF,\phi,h})$  Factor de corrección del rendimiento con el factor de carga parcial en potencia, varía dependiendo de la tipología de caldera, con las siguientes expresiones por defecto:

<i>ELECTRICA:</i>	$\eta_{CLF,gnr,Pn}(fcp_{CLF,\phi,h}) = 0,9363 + 0,0637 \cdot fcp_{CLF,\phi,i}$
<i>ESTANDAR:</i>	$\eta_{CLF,gnr,Pn}(fcp_{CLF,\phi,h}) = 0,97 + 0,03 \cdot fcp_{CLF,\phi,i}$
<i>BAJA TEMPERATURA:</i>	$\eta_{CLF,gnr,Pn}(fcp_{CLF,\phi,h}) = 1$
<i>CONDENSACION:</i>	$\eta_{CLF,gnr,Pn}(fcp_{CLF,\phi,h}) = 1,0914 - 0,0914 \cdot fcp_{CLF,\phi,i}$
<i>BIOMASA:</i>	$\eta_{CLF,gnr,Pn}(fcp_{CLF,\phi,h}) = 0,9442 + 0,0558 \cdot fcp_{CLF,\phi,i}$
<i>BIOMASA 1:</i>	$\eta_{CLF,gnr,Pn}(fcp_{CLF,\phi,h}) = 0,7159 + 0,2841 \cdot fcp_{CLF,\phi,i}$

*Ecuaciones 14-11, 14-12, 14-13, 14-14, 14-15 y 14-16*



**Imagen 14.47:** Rendimiento en función del estado de carga.

- $\eta_{CLF,gnr,Pn}(fcp_{CLF,t,h})$  Factor de corrección del rendimiento con el factor de carga parcial en tiempo (valor por defecto uno).

<sup>179</sup> **Rendimiento Útil:** Relación entre el flujo calórico transmitido al agua de la caldera y el producto del poder calorífico inferior a presión constante del combustible por el consumo expresado en cantidad de combustible por unidad de tiempo

Este rendimiento se ve incrementado sólo en las calderas de condensación, se mantiene constante en la de baja temperatura y disminuye en las demás.

Como se puede comprobar aplicando los factores correctores por defecto, la única variable que corrige el rendimiento de la caldera, y por tanto el consumo del servicio de calefacción, es la variación de este con el funcionamiento a carga parcial, pues las demás variaciones contempladas se fijan igual a la unidad.

$$Q_{CLF,gen} = \frac{\phi_{CLF,gnr,h}}{\eta_{CLF,gnr,h}} = \phi_{CLF,gnr,Pn} \cdot \frac{1}{\eta_{CLF,gnr,h}} = \frac{\phi_{CLF,gnr,h}}{\eta_{CLF,gnr,Pn}} \cdot Q_{CLF,gen}(fcp_{CLF,\phi,h}) \quad 14-17$$

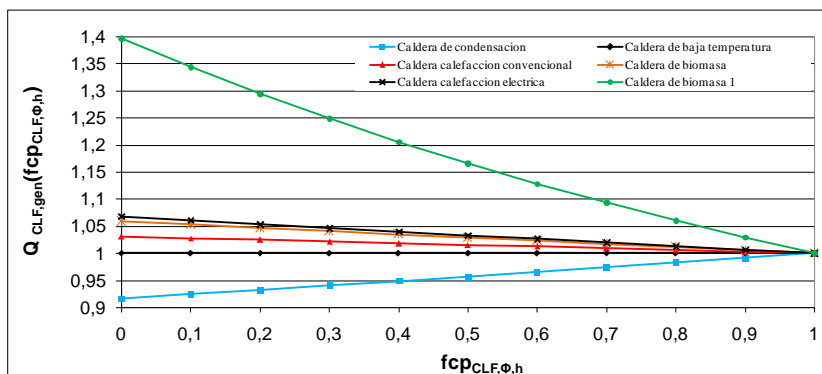


Imagen 14.48: Consumo en función del estado de carga.

Pese al bajo rendimiento que tienen las calderas de biomasa 1 (imagen 14.48) que repercute en un mayor consumo de estas calderas tienen la mejor calificación energética por utilizar un combustible renovable.

Si el equipo está destinado al servicio de ACS:

$\eta_{ACS,gnr,Pn}(T_{CLF,gnr,imp})$  Factor de corrección del rendimiento con la temperatura del agua en la impulsión (su valor por defecto es uno).

- $\eta_{ACS,gnr,Pn}(fcp_{ACS,\phi,h})$  Factor de corrección del rendimiento con el factor de carga parcial en potencia, varía dependiendo de la tipología de caldera, con las siguientes expresiones.
- $\eta_{ACS,gnr,Pn}(fcp_{ACS,t,h})$  Factor de corrección del rendimiento con el factor de carga parcial en tiempo. Valor por defecto:

**ELECTRICA:**  $\eta_{ACS,gnr,Pn}(fcp_{ACS,t,h}) = 1$

**COMBUSTIBLE:**  $\eta_{ACS,gnr,Pn}(fcp_{ACS,t,h}) = 0,9313 + 0,0687 \cdot fcp_{ACS,t,h}$

Ecuaciones 14-18, 14-19

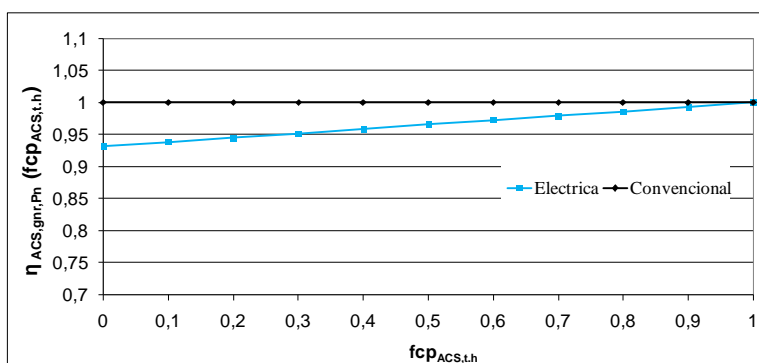


Imagen 14.49: Rendimiento en función del estado de tiempo.

Como se puede percibir aplicando los factores correctores por defecto, la única variable que corrige el rendimiento de la caldera (y por tanto el consumo), es la variación con el tiempo de funcionamiento, pues las demás variaciones contempladas siempre corrigen con uno. En la caldera eléctrica el rendimiento se mantiene constante, en las convencionales disminuye a medida que se utilicen menos.

$$Q_{ACS,gen} = \frac{\phi_{ACS,gnr,h}}{\eta_{ACS,gnr,h}} = \phi_{ACS,gnr,Pn} \cdot \frac{1}{\eta_{ACS,gnr,h}} = \frac{\phi_{ACS,gnr,h}}{\eta_{ACS,gnr,Pn}} \cdot Q_{ACS,gen}(fcp_{ACS,\phi,h}) \quad 14-20$$

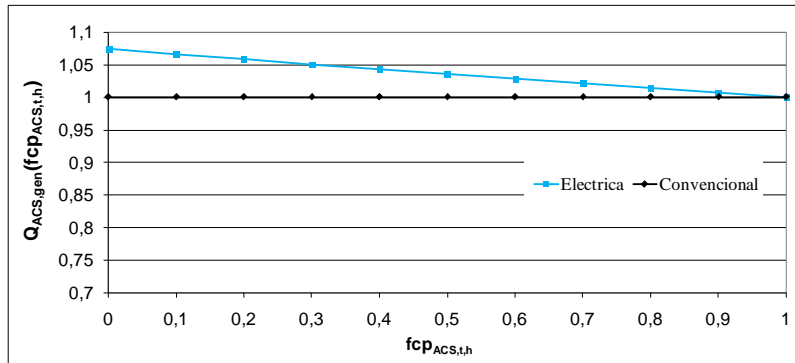


Imagen 14.50: Consumo en función del estado de tiempo.

Se puede concluir, por tanto, que en este programa no se tiene en cuenta el consumo de los subsistemas de emisión (posición de los emisores, estratificación del aire y consumo eléctrico del control) y de distribución (pérdidas energéticas en la distribución y consumo eléctrico de las bombas de circulación). Por tanto las curvas de comportamiento horario de los generadores son las que estiman el consumo total del sistema de calefacción.

$$Q_{CLF,gnr,ent} = Q_{CLF,gen,ent} = Q_{CLF,ent} \quad 14-21$$

## 14.5. Definición de sistemas en CALENER GT

Existen en el programa dos niveles de definición de los sistemas, un primer nivel en el que se definen los subsistemas primarios (sistemas de agua: generación térmica y distribución de energía mediante agua como fluido caloportador, pestaña subsistemas primarios) y un segundo nivel en el que se definen los subsistemas secundarios (sistemas que tratan el aire<sup>180</sup>: demandan energía para el tratamiento del aire, pestaña subsistemas secundarios).

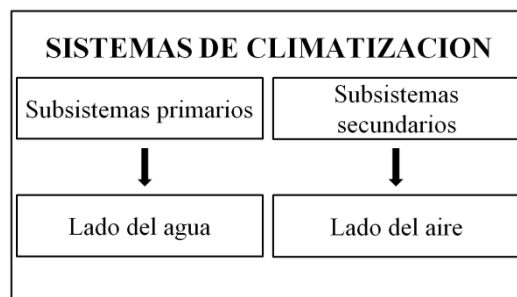


Imagen 14.51: Sistemas de climatización en el programa CALENER GT

<sup>180</sup>Aquí están incluidos todos los sistemas que tratan el aire: UTA, Fan-coil, equipos de expansión directa,...

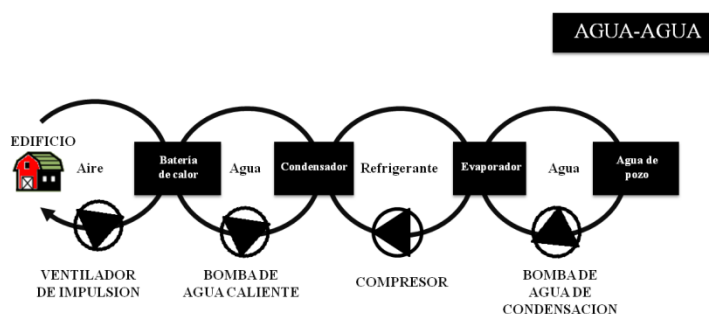
### 14.5.1. Lado del agua

Se analiza en este apartado el esquema que tiene el programa CALENER GT para definir los subsistemas primarios. Se incide en los esquemas que tiene el programa para el servicio de calefacción y agua caliente sanitaria y en concreto con el generador tipo caldera. Para demás generadores y servicios (refrigeración) se puede consultar el documento DTIE 7.04 [8.14].

Para el servicio de calefacción el sistema de climatización puede considerarse como una cadena de transferencia de energía extraída del aire exterior y cedido a la zona del edificio.

El sistema más completo utilizando una bomba de calor agua-agua como elemento generador, está compuesto de los siguientes equipos:

- **VENTILADOR DE IMPULSION:** El ventilador trasiega el aire (por una red de conductos, plenum o directamente por la zona) desde la batería de calor, donde ha extraído calor, hasta la zona donde lo transfiera al aire. El fluido puesto en juego es el aire.
- **BOMBA DE AGUA CALIENTE:** Las bombas trasiegan el agua desde el condensador, donde el refrigerante a trasferido su energía al agua, hasta las baterías de calor. El fluido puesto en juego es el agua.
- **MAQUINA FRIGORIFICA:** La máquina frigorífica en ciclo inverso (bomba de calor) se encarga de extraer el calor al agua que le llega caliente a su evaporador y cederlo al agua del circuito de agua caliente en el condensador mediante un ciclo de compresión de vapor. El fluido puesto en juego es refrigerante.
- **BOMBA DE AGUA DE CONDENSACION:** Las bombas trasiegan el agua desde el agua bruta hasta el evaporador. El fluido puesto en juego es el agua.
- **AGUA BRUTA:** Agua proveniente de pozo, mar, acuífero que cede calor al agua que va al evaporador.

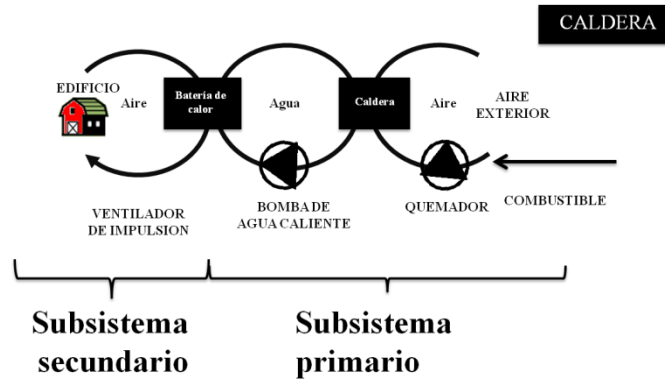


**Imagen 14.52:** Sistema de calefacción con bomba de calor agua-agua<sup>181</sup>.

Como se aprecia en la imagen 14.52 la mayor parte de los elementos se definen en la pestaña de Subsistemas primarios. En la pestaña de Subsistemas secundarios sólo hay que seleccionar el tipo de subsistema secundario en función de cómo se realiza el tratamiento de aire, con múltiples baterías en las zonas o en una única batería colocada en una UTA (Unidad de Tratamiento de Aire) de forma central. Con esto sólo quedarán por definir los datos relativos al ventilador/es y la batería/as de calor.

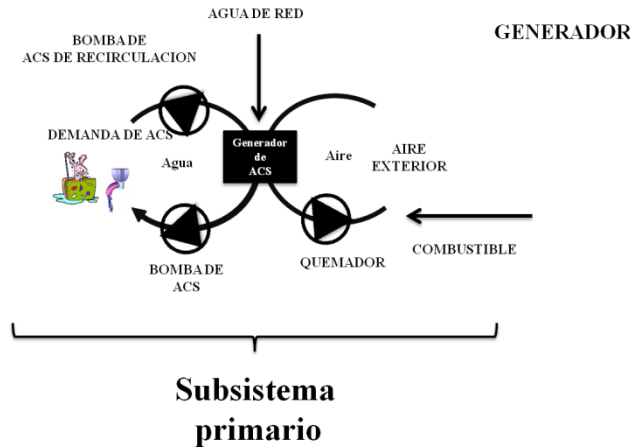
En caso de que el equipo de generación sea una caldera (sistema analizado en esta tesis doctoral) el esquema y la introducción de elementos en los subsistemas primarios y subsistemas secundarios es el de la imagen 14.53.

<sup>181</sup>Se ha seguido la forma esquemática de representar los sistemas de climatización expuesta en la tesis doctoral “Metodología de análisis de eficiencia energética de sistemas de climatización. Aplicación a edificios del sector terciario”[8.15].



**Imagen 14.53:** Sistema de calefacción con caldera

Para el servicio de ACS el sistema térmico puede volver a considerarse como una cadena de transferencia de energía pero ahora extrae calor de un combustible (también podría ser mediante efecto joule) o de la condensación de un refrigerante y lo cede al agua caliente sanitaria. En la imagen 14.53 se ha representado una caldera como elemento generador pero también podría ser una bomba de calor aire-agua.

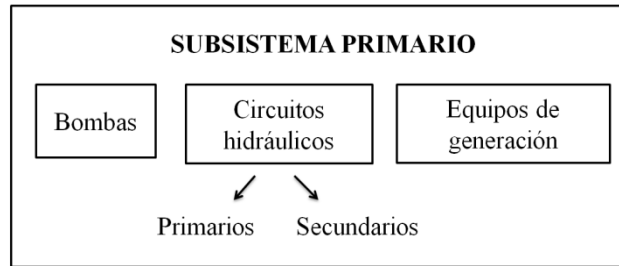


**Imagen 14.54:** Sistema de ACS

Este es el único sistema en el que no hay que definir ningún elemento en la pestaña *Subsistemas secundarios* pues no existe aquí ningún tratamiento del aire (se demanda energía para preparar el agua caliente sanitaria) y sólo se definen los equipos en la pestaña de *Subsistemas primarios*.

Es en los subsistemas primarios donde están incluidos los equipos y dispositivos encargados de la generación de la energía térmica (calorífica y frigorífica) así como de su transporte y distribución con agua como fluido caloportador (circuitos hidráulicos) desde los equipos generadores hasta los subsistemas secundarios mediante bombas de circulación.

En ninguno de los casos se pide la distribución, longitud y tipo de aislamiento de las tuberías, por tanto no se tiene en cuenta la pérdida energética por las mismas (distribución).



**Imagen 14.55:** Sistema primarios

Obviamente aquellos equipos que no emplean el agua como fluido caloportador, los equipos autónomos condensados por aire por ejemplo, no requieren la definición de ningún circuito hidráulico y por tanto no es necesario para simularlos la definición de ningún subsistema primario. Si estos equipos estuvieran condensados por agua sería necesario definir los subsistemas primarios de condensación (torre de refrigeración, circuito de condensación y bomba de condensación).

Los subsistemas primarios son bastante flexibles en la definición de elementos y no existen subsistemas primarios predefinidos sino que el usuario tiene libertad en la definición de los mismos.

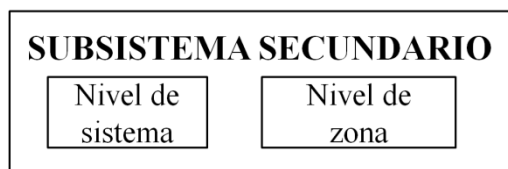
Aun así existe una limitación a la hora de simular sistemas mixtos porque el único tipo de circuito que puede abastecer a las demandas de ACS y a la de una batería de calor es el de agua caliente sanitaria. El único generador que pueda calentar el agua de este tipo de circuito es el generador de ACS que como se verá en sus curvas solo pueden ser de tipo eléctrico efecto joule, combustible o bomba de calor. Es decir no existe la posibilidad de indicar que tipo de generador de combustión es, baja temperatura, estándar o de condensación.

### 14.5.2. Lado del aire

En CALENER GT se consideran subsistemas secundarios todos aquellos equipos y dispositivos encargados del tratamiento y la distribución de aire en las zonas. A los subsistemas secundarios también se les puede llamar sistemas de aire. Una instalación de climatización que no utilice el agua como fluido caloportador (no requiere la definición de ningún circuito hidráulico) sólo está formada por subsistemas secundarios.

Por tanto todos los equipos autónomos en los que se enfría aire mediante la expansión directa de un refrigerante condensados por aire, se definen a partir de los subsistemas secundarios únicamente.

Con carácter general los subsistemas secundarios (sistemas de aire) pueden dividirse en dos niveles, nivel de sistema y nivel de zona.

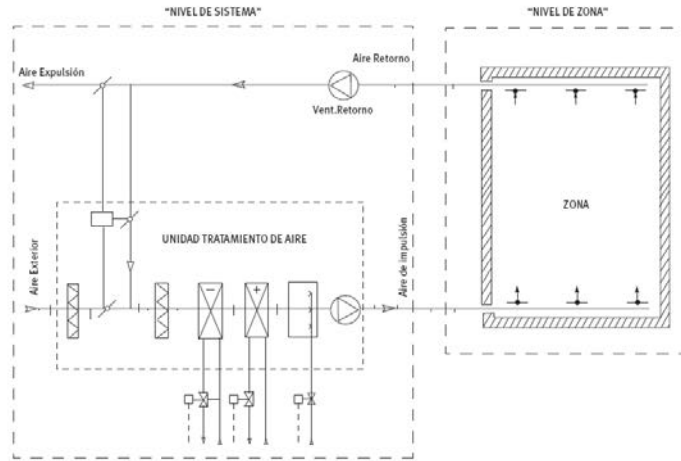


**Imagen 14.56:** Subsistemas secundarios

Se denomina nivel de sistema (o nivel de UTA) al conjunto de equipos y dispositivos en los que se trata al aire antes de distribuirlo a las zonas. Se denomina nivel de zona al conjunto de equipos y dispositivos que formando parte del sistema de climatización se ubican en las diferentes zonas que constituyen el edificio.

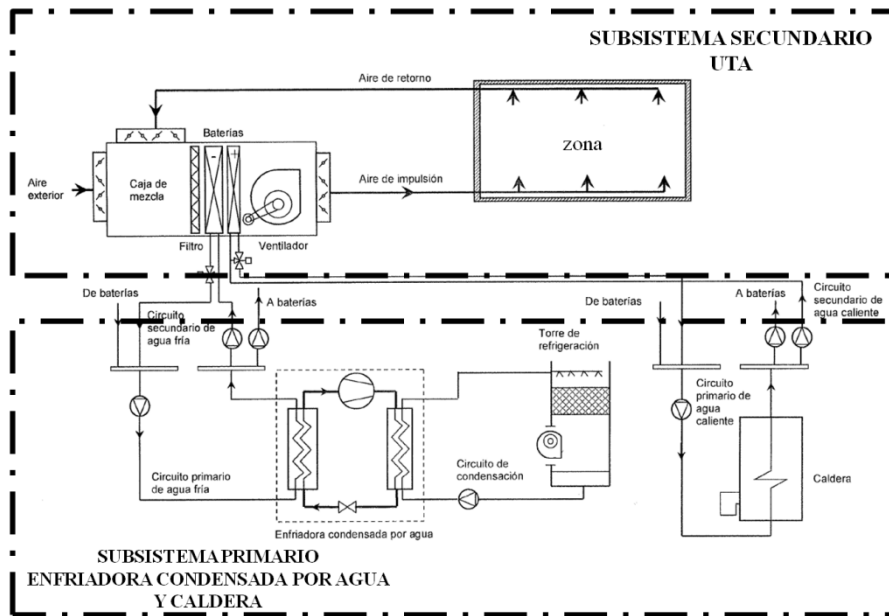
En ninguno de los casos se pide la distribución, longitud y tipo de aislamiento de los conductos, por tanto no se tiene en cuenta la pérdida energética por los mismos (distribución).





**Imagen 14.57:** Nivel de sistema y nivel de zona

Se muestra en la imagen 14.58 el esquema general de un sistema de climatización para ver la conexión entre los subsistemas primarios (sistemas de agua) y secundarios (sistemas de aire), en este caso concreto a nivel de sistema (nivel de UTA).



**Imagen 14.58:** Conexión de subsistemas

Los subsistemas secundarios, a diferencia de los subsistemas primarios, no son tan flexibles en su definición y sólo se podrá escoger entre dieciséis modelos propuestos a los que se les podrá ir añadiendo elementos según el caso.

**Tabla 14.5:** Clasificación de los subsistemas secundarios

Tipo de sistema	Producción de frío	Localización tratamiento de aire
<b>Autónomo caudal constante</b>	Autónomo	Central
<b>Autónomo caudal variable</b>		Central
<b>Autónomo caudal y temperatura variable</b>		Central
<b>Autónomo mediante unidades terminales</b> - Convencional - VRV		Zonal
<b>Aut. BdC agua/aire en circuito cerrado</b>		Zonal
<b>Todo aire caudal constante unizona</b>	No autónomo	Central
<b>Todo aire caudal constante</b>		Central
<b>Todo aire caudal variable</b>		Central
<b>Todo aire doble conducto</b>		Central
<b>Climatizadora de aire primario</b>		Central
<b>Ventiloconvectores (Fan-coil)</b>		Zonal
<b>Termoventilación</b>		Zonal
<b>Sólo calefacción por efecto Joule</b> - <b>Con ventilación.</b> <b>Termoventilación.</b> Conectores eléctricos Acumuladores dinámicos - <b>Sin ventilación</b> Hilo caliente Infrarrojo. Calor negro Radiadores eléctricos Panel radiante Acumuladores estáticos	Sólo calefacción	Zonal
<b>Sólo calefacción por agua</b> - <b>Suelo radiante</b> - <b>Radiadores</b>		
<b>Enfriamiento evaporativo</b>	Enfriamiento evaporativo	Central
<b>Sólo ventilación</b>	Sólo ventilación	Central

Los subsistemas solo calefacción, que son lo que afectan a este trabajo, son aquellos que sólo son capaces de aportar calor a las zonas sin poseer capacidad alguna de suministrar refrigeración.

Puede ser mediante baterías de agua (sólo calefacción por agua) o mediante resistencias eléctrica (sólo calefacción por efecto Joule ó termoventilación).

Se reproducen a continuación los esquemas de los subsistemas secundarios (sistemas de aire) del programa CALENER GT reproducidos del manual del programa *DOE<sup>182</sup>-2.2 Volume 1: Basics October 2004* motor de cálculo del CALENER GT para ayudar a interpretar los subsistemas analizados en este trabajo doctoral.

El sistema solo calefacción por agua proporciona calor a una o varias zonas circulando agua caliente a través de una red de tuberías a las unidades terminales de agua caliente (radiadores o suelo radiante). La temperatura de cada zona es controlada variando la temperatura del fluido que circula en cada zona. No permiten impulsión de aire, ni de la zona ni exterior.

<sup>182</sup> [www.doe2.com/DOE2](http://www.doe2.com/DOE2)

Si el sistema real tuviera ventilación (por ejemplo con una climatizadora de aire primario) se debe crear otro espacio-zona (espacio de aire primario<sup>183</sup>) para poder asignárselo a la climatizadora de aire primario y poder tener en cuenta el consumo energético de la misma pues en CALENER GT una zona no puede pertenecer a dos subsistemas secundarios diferentes.

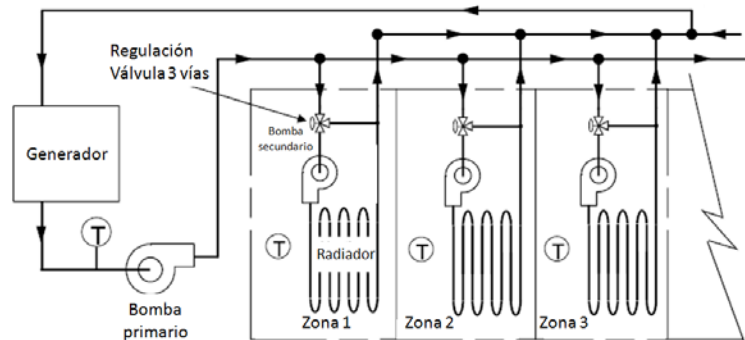


Imagen 14.59: Radiadores o suelo radiante

## 14.6. Comportamiento horario de los equipos CALENER GT

Se representan a continuación las variaciones horarias del comportamiento (curvas de comportamiento) de los equipos analizados en esta tesis doctoral a partir de sus condiciones nominales (ver anexo II) considerados en CALENER GT (para los demás equipos consultar el DTIE 7.04 [8.14] Entrada de datos al programa CALENER GT).

En este programa sigue sin tenerse en cuenta el consumo energético de los subsistemas de emisión y distribución, así como sus pérdidas energéticas. En cambio sí que se considera los sistemas definidos por todos sus elementos, subsistemas primarios y secundarios, y además se consideran las variaciones horarias de las prestaciones de todos los equipos constituyentes de los sistemas de climatización, no sólo los generadores térmicos sino también las unidades terminales, bombas de circulación y ventiladores.

### 14.6.1. Bombas de circulación

Las propiedades de este tipo de objeto que son afectadas por curvas de comportamiento son:

- Diferencia de presión en el fluido
- Potencia eléctrica consumida

La presión que da la bomba al fluido ( $\Delta p_i$ ) en cualquier instante se calcula según:

$$\Delta p_i = \Delta p_{dsñ} \cdot \Delta p(fcp) \quad 14-22$$

donde,

- $\Delta p_{dsñ}$  Presión que proporciona la bomba en condiciones nominales (diseño).
- $\Delta p(fcp)$  Variación de la presión de la bomba en función del estado de carga parcial. En este caso se define la carga parcial como el cociente entre los caudales de operación en cada instante y nominales. Ver imagen 14.60.

La potencia eléctrica consumida ( $P_{bmb,i}$ ) de la bomba en cualquier instante se calcula según:

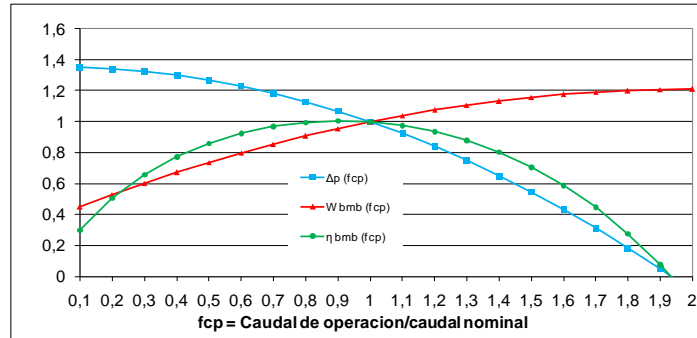
$$P_{bmb,i} = P_{bmb,nom} \cdot W_{bmb}(fcp) \quad 14-23$$

<sup>183</sup>No se puede simular el enfriamiento gratuito si lo tuviera. Ver referencia [14].

donde,

- $P_{bmb, nmn}$  Potencia eléctrica consumida en condiciones nominales.
- $W_{bmb} (fcp)$  Variación de la presión de la bomba en función del estado de carga parcial. En este caso se define la carga parcial como el cociente entre los caudales de operación en cada instante y nominal. Ver imagen 14.60.

De las curvas anteriores puede obtenerse la curva de variación del rendimiento normalizado con la carga  $\eta (fcp)$  para un régimen de giro constante.



**Imagen 14.60:** Comportamiento de curvas en las bombas

Para bombas de caudal variable con variador de frecuencia debe especificarse el tipo de control. En este caso es necesario utilizar las leyes de semejanza para simular la variación de potencia con la velocidad de giro de la bomba ( $n_{bmb,i}$ ) (el exponente  $\xi \approx 3$ ).

$$\frac{W_{bmb,1}}{W_{bmb,2}} = \left( \frac{n_{bmb,1}}{n_{bmb,2}} \right)^\xi \quad 14-24$$

## 14.6.2. Calderas

Las variables de este tipo de objeto que son afectadas por curvas de comportamiento son dos:

- Potencia calorífica
- Cociente entre la potencia calorífica y la potencia consumida. Rendimiento

La potencia calorífica ( $\Phi_{gnr,h}$ ) en cualquier instante se calcula según:

$$\phi_{gnr,h} = \phi_{gnr,Pn} \cdot \phi_{gnr}(T_{imp}, T_{alr}) \quad 14-25$$

donde,

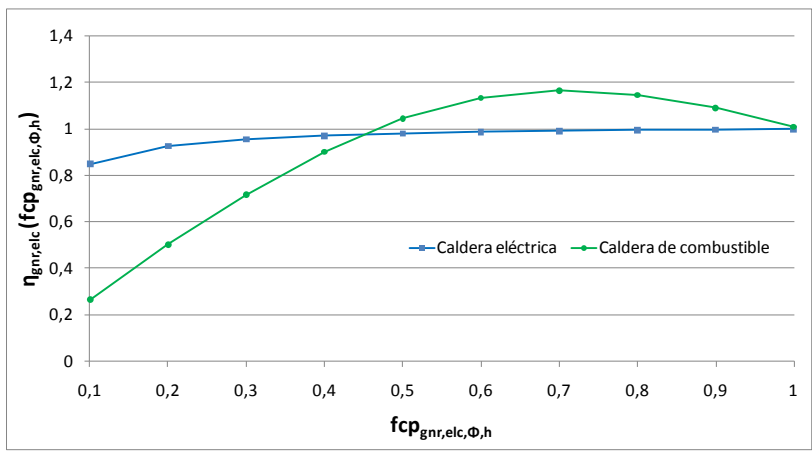
- $\Phi_{gnr,Pn}$  Potencia calorífica condiciones nominales (RD 275/1995).
- $\Phi_{gnr}(T_{imp}, T_{alr})$  Variación de la potencia calorífica en función de la temperatura de impulsión y la temperatura seca que rodea a la caldera. Por defecto vale uno.

El rendimiento eléctrico ( $\eta_{gnr,elc,i}$ ) de la caldera en cualquier instante se calcula según:

$$\eta_{gnr,elc,h} = \eta_{gnr,elc,Pn} \cdot \eta_{gnr,elc}(fcp_{gnr,elc,\phi,h}) \quad 14-26$$

donde,

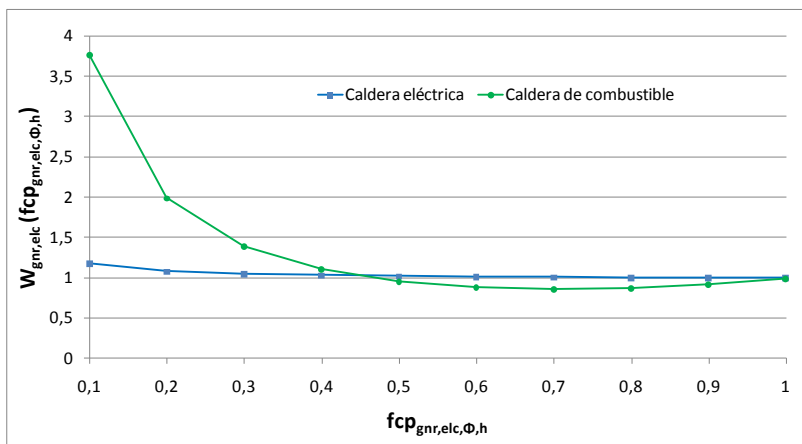
- $\eta_{gnr,elc,Pn}$  Rendimiento eléctrico nominal.
- $\eta_{gnr,elc}(fcp_{gnr,elc,\phi,h})$  Variación del rendimiento eléctrico en función del estado de carga. En este caso el estado de carga es el cociente entre la potencia demandada en cada instante (demanda térmica) y la potencia calorífica que puede abastecer la caldera en ese instante. Ver imagen 14.61.



**Imagen 14.61:** Curvas de rendimiento eléctrico en calderas.

Como se puede percibir aplicando los factores correctores por defecto, la única variable que corrige el rendimiento de la caldera eléctrica (y por tanto el consumo eléctrico), es la variación con el tiempo de funcionamiento, pues las demás variaciones contempladas siempre corrigen con uno. En la caldera eléctrica el rendimiento se mantiene constante, en las convencionales disminuye a medida que se utilicen menos.

$$W_{CLF,gen,aux} = \frac{P_{CLF,gnr,h}}{\eta_{CLF,elec,h}} = P_{CLF,gen,aux,Pn} \cdot \frac{1}{\eta_{CLF,gnr,h}} = \frac{P_{CLF,gen,aux,h}}{\eta_{CLF,gnr,elec,Pn}} \cdot W_{CLF,gen}(fcp_{gnr,elec,\phi,h}) \quad 14-27$$



**Imagen 14.62:** Curvas de consumo eléctrico en calderas.

El rendimiento térmico (η<sub>gnr,term,h</sub>) de la caldera en cualquier instante se calcula según:

$$\eta_{gnr,term,h} = \eta_{gnr,term,Pn} \cdot \eta_{gnr,term}(T_{imp}, T_{alr}) \cdot \eta_{gnr,term}(fcp_{CLF,\phi,h}) \quad 14-28$$

donde,

- η<sub>gnr,term,Pn</sub> Rendimiento térmico en condiciones nominales (RD 275/1995).
- η<sub>gnr,term</sub>(T<sub>imp</sub>, T<sub>alr</sub>) Variación del rendimiento térmico en función de la temperatura de impulsión y la temperatura seca que rodea a la caldera. Por defecto vale uno.
- η<sub>gnr,term</sub>(fcp<sub>CLF,φ,h</sub>) Variación del rendimiento térmico en función del estado de carga. En este caso el estado de carga es el cociente entre la potencia demandada en cada instante (demanda térmica) y la potencia calorífica que puede abastecer la caldera en ese instante. Ver imagen 14.63.

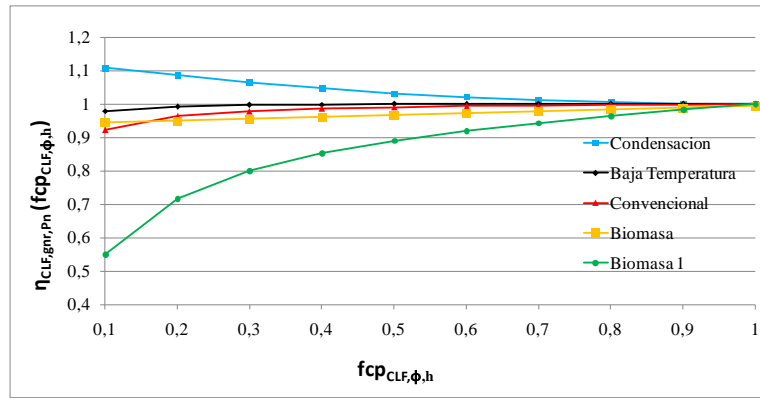


Imagen 14.63: Curvas de rendimiento térmico en calderas.

Este rendimiento se ve incrementado sólo en las calderas de condensación, se mantiene constante en la de baja temperatura y disminuye en las demás.

Como se puede comprobar aplicando los factores correctores por defecto, la única variable que corrige el rendimiento de la caldera, y por tanto el consumo del servicio de calefacción, es la variación de este con el funcionamiento a carga parcial, pues las demás variaciones contempladas se fijan igual a la unidad.

$$Q_{CLF,gen} = \frac{\phi_{CLF,gnr,h}}{\eta_{CLF,gnr,h}} = \phi_{CLF,gnr,Pn} \cdot \frac{1}{\eta_{CLF,gnr,h}} = \frac{\phi_{CLF,gnr,h}}{\eta_{CLF,gnr,Pn}} \cdot Q_{CLF,gen}(fcp_{CLF,\phi,h}) \quad 14-29$$

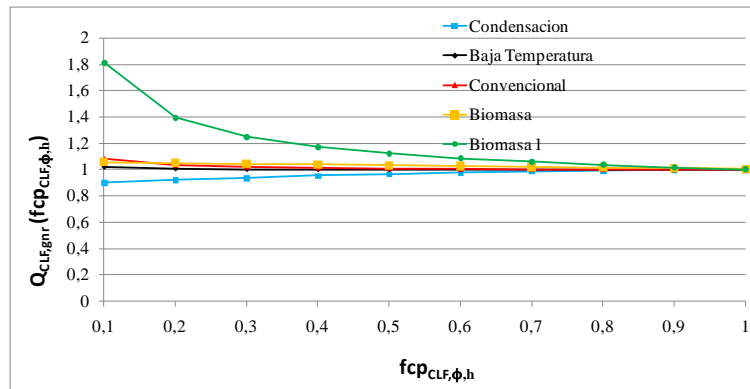


Imagen 14.64: Curvas de consumo térmico en calderas.

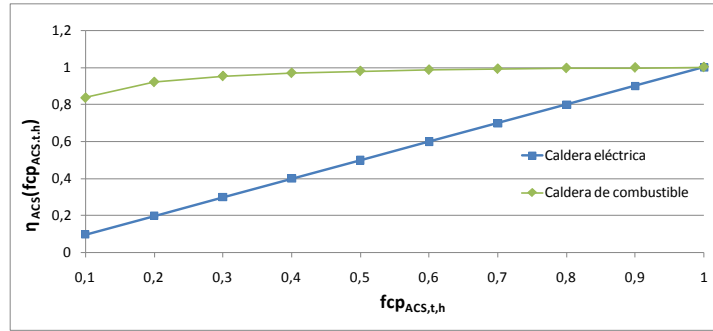
### 14.6.3. Generador ACS

El rendimiento térmico del generador de ACS ( $\eta_{ACS,Pn}$ ) en cualquier instante se calcula según:

$$\eta_{ACS,gnr,Ph} = \eta_{ACS,Pn} \cdot \eta_{ACS}(fcp_{ACS,t,h}) \quad 14-30$$

donde,

- $\eta_{ACS,Pn}$  Rendimiento térmico en condiciones nominales (RD 275/1995).
- $\eta(fcp_{ACS,t,h})$  Variación del rendimiento en función del estado de carga. En este caso se define como la fracción de hora en la que el equipo estuvo funcionando ( $fcp_{ACS,t,h} = t_{ACS,ON} / 1$ ;  $t_{ACS,ON} \leq 1$  hora). Ver imagen 14.65

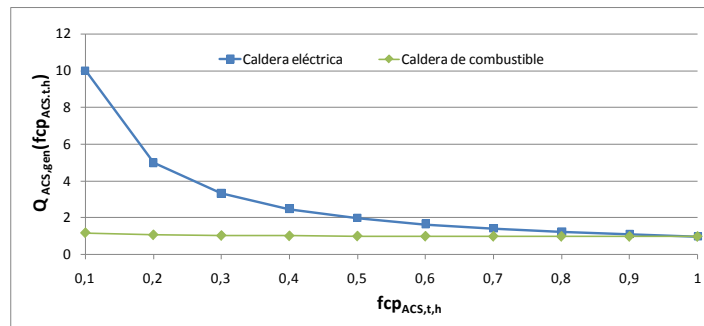


**Imagen 14.65:** Curvas de rendimiento térmico en generadores de ACS.

En los generadores de ACS tipo combustible no se diferencia entre el tipo de generador (estándar, baja temperatura y condensación) cuando se carga el tipo por defecto. Para esto se debieran cargar la curva de este tipo de generador descritas en el apartado anterior.

Como se puede percibir aplicando los factores correctores por defecto, la única variable que corrige el rendimiento de la caldera (y por tanto el consumo), es la variación con el tiempo de funcionamiento, pues las demás variaciones contempladas siempre corrigen con uno. En la caldera eléctrica el rendimiento se mantiene constante, en las convencionales disminuye a medida que se utilicen menos.

$$Q_{ACS,gen} = \frac{\phi_{ACS,gnr,h}}{\eta_{ACS,gnr,h}} = \phi_{ACS,gnr,Pn} \cdot \frac{1}{\eta_{ACS,gnr,h}} = \frac{\phi_{ACS,gnr,h}}{\eta_{ACS,gnr,Pn}} \cdot Q_{ACS,gen}(fcp_{ACS,t,h}) \quad 14-31$$



**Imagen 14.66:** Consumo en función del estado de tiempo.

Se puede concluir, por tanto, que en este programa no se tiene en cuenta el consumo de los subsistemas de emisión (posición de los emisores, estratificación del aire y consumo eléctrico del control) y de distribución (pérdidas energéticas en la distribución y consumo eléctrico de las bombas de circulación). Por tanto las curvas de comportamiento horario de los generadores son las que estiman el consumo total del sistema de calefacción.

#### 14.6.4. Radiador

Las variables de este tipo de objeto que son afectadas por curvas de comportamiento son cuatro:

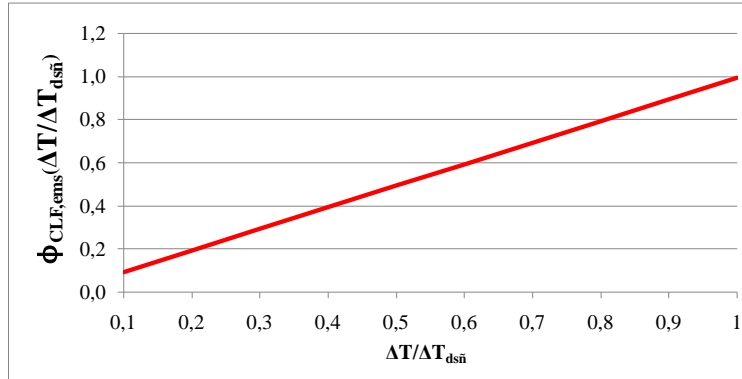
- Potencia calorífica

La potencia calorífica ( $\Phi_{CLF,ems,h}$ ) de la batería del ventiloincubador en cualquier instante se calcula según:

$$\phi_{CLF,ems,h} = \phi_{CLF,ems,nmn} \cdot \phi_{CLF,ems} \left( \frac{\Delta T}{\Delta T_{dsñ}} \right) \cdot \phi_{CLF,ems}(fcp_{agua}) \quad 14-32$$

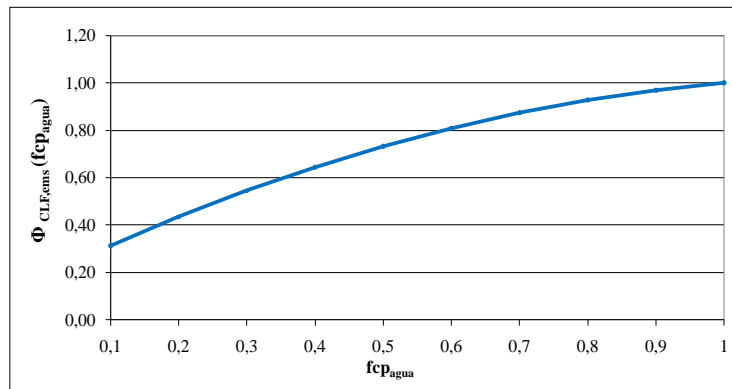
donde,

- $\Phi_{CLF,ems,nmn}$  Potencia calorífica en condiciones nominales (UNE EN 442)
- $\Phi_{CLF,ems}(\Delta T/\Delta T_{dsñ})$  Variación de la potencia calorífica en función del cociente entre la diferencia de temperaturas del aire a la entrada y del agua a la entrada con respecto a la nominal. Ver imagen 14.67.



**Imagen 14.67:** Variación de la potencia calorífica con  $fcp_{\Delta T}$ .

- $\Phi_{CLF,ems}(fcp_{agua})$  Capacidad de la batería en función del caudal de agua caliente que circula. Está normalizada a 1 para las condiciones de diseño. Ver imagen 14.68.



**Imagen 14.68:** Variación de la potencia calorífica con  $fcp_{agua}$ .



## 14.7. Condiciones nominales

Se muestran a continuación las condiciones nominales reguladas para algunos de los equipos de los subsistemas de climatización. Muchas condiciones nominales simplemente están impuestas por el fabricante para exponer las prestaciones de su producto.

### 14.7.1. Calderas

Las condiciones nominales para referir las prestaciones de estos equipos son las reguladas en el RD 275/1995:

- **Potencia calorífica:** Para la potencia en ensayos se utiliza una temperatura de impulsión de 80°C y de retorno de 60°C (temperatura media de 70°C). La temperatura ambiente es de 20°C.
- **Rendimiento:** Relación entre potencia nominal y el producto del poder calorífico inferior a presión constante del combustible por el consumo expresado en cantidad de combustible por unidad de tiempo.

### 14.7.2. Bombas de circulación

Las condiciones nominales de las bombas de circulación dependen del tipo de bomba seleccionado. Si la bomba es de una velocidad estas condiciones deben ser la intersección entre la curva característica de la bomba y la curva de pérdida de carga de la instalación. Si la bomba es de dos velocidades o de velocidad variable estas condiciones son las que se producen cuando el rotor de la bomba gira a las máximas revoluciones.

## 14.8. Valores de referencia

Se representan a continuación los valores medios de demanda energética de los servicios de calefacción, refrigeración y agua caliente sanitaria de los edificios nuevos y existentes de viviendas fijados como referencia.

**Tabla 14.6:** Demanda de referencia para viviendas de nueva construcción (posterior al 2006)

kWh/m <sup>2</sup> Localidad	Zona climática	Calefacción		Refrigeración		ACS	
		unifamiliares	bloques	unifamiliares	bloques	unifamiliares	bloques
Albacete	D3	72,2	49,1	13,9	9,7	17,9	13,1
Alicante	B4	23	13,2	24,2	16,7	16,8	12,3
Almería	A4	19,8	10,8	27,7	19,1	16,6	12,1
Ávila	E1	101	69,5	0	0	18,7	13,7
Badajoz	C4	41,6	27,4	25,1	17,1	17,2	12,6
Barcelona	C2	43,4	28,3	12,1	8	17,4	12,8
Bilbao	C1	61,9	40	0	0	17,8	13
Burgos	E1	113,1	77,1	0	0	18,8	13,8
Cáceres	C4	48,4	32,1	27,8	19	17,3	12,7
Cádiz	A3	17,2	9	21,4	14,6	16,7	12,3
Castellón	B3	35,5	21,4	19,4	13,1	17,1	12,5
Ceuta	B3	31,2	18,3	8,4	5,7	17,2	12,6
Ciudad Real	D3	66,4	45	18,9	13,2	17,8	13
Córdoba	B4	38,3	23,5	32,2	22,4	16,9	12,4
Cuenca	D2	89,3	60,9	8,3	5,6	18,2	13,3
Gerona	C2	63,7	42,4	9,8	6,4	17,7	13
Granada	C3	55,9	37,4	17,7	12,5	17,6	12,9
Guadalajara	D3	74,8	50,4	11,4	7,8	17,9	13,1
Huelva	B4	21,5	12,6	26,4	18,3	16,7	12,3
Huesca	D2	74,6	50,6	11,7	7,9	17,9	13,1
Jaén	C4	39,9	26,2	31,8	22,3	16,7	12,3
La Coruña	C1	46,6	30	0	0	17,8	13
León	E1	95,7	65,5	0	0	18,6	13,6
Lérida	D3	62,3	42	18,3	12,4	17,7	13
Logroño	D2	70,8	47,4	9	5,9	17,9	13,2
Lugo	D1	89,5	60,2	0	0	18,5	13,5
Madrid	D3	64,4	43,2	15,7	10,8	17,7	13
Málaga	A3	24,2	13,4	23,3	16,1	16,7	12,3
Melilla	A3	17,5	9,3	20,9	14,2	16,7	12,2
Murcia	B3	33	19,8	18,5	12,5	17,1	12,5
Ourense	C2	66,1	43,2	9,1	5,7	17,7	13
Oviedo	C1	73,1	48,3	0	0	18,1	13,3
Palencia	D1	90	61,2	0	0	18,4	13,5
Palma G.Canaria	A3	9,3	3,5	16,4	11,1	16,2	11,8
Palma Mallorca	B3	25,1	14,4	23,3	15,9	16,9	12,4
Pamplona	D1	85,3	57,5	0	0	18,2	13,3
Pontevedra	C1	41,2	26,5	0	0	17,5	12,9
Salamanca	D2	91,1	62,3	4,5	2,7	18,4	13,5
San Sebastián	C1	71,4	46,9	0	0	18	13,2
Santa Cruz	A3	9,3	3,5	22,7	15,6	16,1	11,8
Santander	C1	51,3	33	0	0	17,8	13
Segovia	D2	96,4	65,7	6,2	4,2	18,3	13,5
Sevilla	B4	27,9	16,6	33,4	23,4	16,7	12,3
Soria	E1	105,4	72,1	0	0	18,7	13,7
Tarragona	B3	36	21,8	24,3	16,4	17	12,4
Teruel	D2	94,4	64,5	4,6	2,8	18,4	13,5
Toledo	C4	58,4	39	27,2	18,9	17,4	12,8
Valencia	B3	35,5	21,3	18,7	12,6	17,1	12,5
Valladolid	D2	89,7	60,6	6,9	4,5	18,2	13,3
Vitoria	D1	97	65,4	0	0	18,5	13,5
Zamora	D2	83,1	56,3	7,8	5,3	18,1	13,3
Zaragoza	D3	60,6	40,6	16,9	11,4	17,6	12,9

Tabla 14.7: Demanda de referencia para viviendas existentes (anterior al 2006)

kWh/m <sup>2</sup> Localidad	Zona climática	calefacción		refrigeración		ACS	
		unifamiliares	bloques	unifamiliares	bloques	unifamiliares	bloques
Albacete	D3	172,3	135,9	23,5	17,1	17,9	13,1
Alicante	B4	76,9	49,2	40,9	29,4	16,8	12,3
Almería	A4	44,7	36,5	46,8	33,7	16,6	12,1
Ávila	E1	221,5	187,5			18,7	13,7
Badajoz	C4	123,1	85,4	42,4	30,2	17,2	12,6
Barcelona	C2	117,1	87,4	21,3	14,6	17,4	12,8
Bilbao	C1	132	106,1			17,8	13
Burgos	E1	234,2	193,6			18,8	13,8
Cáceres	C4	109,7	92,5	46,9	33,5	17,3	12,7
Cádiz	A3	50,7	33,7	36,1	25,7	16,7	12,3
Castellón	B3	91,1	64,3	32,7	23,1	17,1	12,5
Ceuta	B3	75,2	60,6	14,2	10,1	17,2	12,6
Ciudad Real	D3	144,3	116,2	31,9	23,3	17,8	13
Córdoba	B4	78,8	64,2	54,4	39,5	16,9	12,4
Cuenca	D2	193,4	156,2	14,6	10,2	18,2	13,3
Girona	C2	135,4	110,5	17,2	11,7	17,7	13
Granada	C3	127,5	106,6	29,9	22	17,6	12,9
Guadalajara	D3	146,9	132,2	19,2	13,8	17,9	13,1
Huelva	B4	70,4	43	44,6	32,2	16,7	12,3
Huesca	D2	171,5	137,9	20,7	14,5	17,9	13,1
Jaén	C4	104,8	83,5	53,7	39,4	16,7	12,3
La Coruña	C1	117,2	93,1			17,8	13
Palma G.Canaria	E1			27,7	19,6	16,2	11,8
León	D3	223,8	179,1			18,6	13,6
Lérida	D2	145,6	117,9	30,9	21,9	17,7	13
Logroño	D1	166	132,2	15,9	10,8	17,9	13,2
Lugo	D3	195,6	154,8			18,5	13,5
Madrid	A3	149,8	121,2	26,5	19,1	17,7	13
Málaga	A3	50,6	41,4	39,4	28,4	16,7	12,3
Melilla	B3	45	31,6	35,3	25,1	16,7	12,2
Murcia	C2	85,3	59,8	31,3	22	17,1	12,5
Ourense	C1	136,2	105,4	16	10,5	17,7	13
Oviedo	D1	152,4	122,8			18,1	13,3
Palencia	A3	210,3	160,7			18,4	13,5
Palma de Mallorca	B3	74,6	51	39,4	28,1	16,9	12,4
Pamplona	D1	185,1	152,5			18,2	13,3
Pontevedra	C1	109,6	86,1			17,5	12,9
Salamanca	D2	220,4	161	8	4,9	18,4	13,5
San Sebastián	C1	140,3	118,8			18	13,2
Santa Cruz	A3			38,3	27,5	16,1	11,8
Santander	C1	120	96,2			17,8	13
Segovia	D2	188,1	162	11	7,6	18,3	13,5
Sevilla	B4	64,4	52,9	56,4	41,2	16,7	12,3
Soria	E1	232,6	187,1			18,7	13,7
Tarragona	B3	82,3	62,8	41	28,9	17	12,4
Teruel	D2	183,2	163,8	8,1	5,2	18,4	13,5
Toledo	C4	132,1	106,2	45,9	33,4	17,4	12,8
Valencia	B3	79,1	64,5	31,5	22,3	17,1	12,5
Valladolid	D2	181,7	155,1	12,2	8,3	18,2	13,3
Victoria	D1	203,9	163,6			18,5	13,5
Zamora	D2	213,3	148,4	13,8	9,7	18,1	13,3
Zaragoza	D3	136,4	116	28,6	20,1	17,6	12,9

## 15. Anexo III. Variables independientes

Se dan en este anexo una serie de valores medios de variables independientes de cálculo que se necesitan en las fórmulas marcadas por las normas CEN para nuestro país. En todo el trabajo se referencia a este anexo cuando se demanden dichas variables.

### 15.1. Temperatura del agua de la red

Este valor se obtiene de la norma UNE 94002/95 que cita el propio Código Técnico y que a continuación se reproduce:

**Tabla 15.1:** Condiciones de la temperatura del agua de la red según UNE 94002

CIUDAD	TEMPERATURA DEL AGUA DE LA RED (°C)												MEDIA ANUAL
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
ALBACETE	7	8	9	11	14	17	19	19	17	13	9	7	13
ALICANTE	11	12	13	14	16	18	20	20	19	16	13	12	15
ALMERIA	12	12	13	14	16	18	20	21	19	17	14	12	16
AVILA	6	6	7	9	11	14	17	16	14	11	8	6	10
BADAJOS	9	10	11	13	15	18	20	20	18	15	12	9	14
BARCELONA	9	10	11	12	14	17	19	19	17	15	12	10	14
BILBAO	9	10	10	11	13	15	17	17	16	14	11	10	13
BURGOS	5	6	7	9	11	13	16	16	14	11	7	6	10
CACERES	9	10	11	12	14	18	21	20	19	15	11	9	14
CADIZ	12	12	13	14	16	18	19	20	19	17	14	12	16
CASTELLON	10	11	12	13	15	18	19	20	18	16	12	11	15
CIUDAD REAL	7	8	10	11	14	17	20	20	17	13	10	7	13
CORDOBA	10	11	12	14	16	19	21	21	19	16	12	10	15
CORUÑA	10	10	11	12	13	14	16	16	15	14	12	11	13
CUENCA	6	7	8	10	13	16	18	18	16	12	9	7	12
GERONA	8	9	10	11	14	16	19	18	17	14	10	9	13
GRANADA	8	9	10	12	14	17	20	19	17	14	11	8	13
GUADALAJARA	7	8	9	11	14	17	19	19	16	13	9	7	12
HUELVA	12	12	13	14	16	18	20	20	19	17	14	12	16
HUESCA	7	8	10	11	14	16	19	18	17	13	9	7	12
JAEN	9	10	11	13	16	19	21	21	19	15	12	9	15
LEON	6	6	8	9	12	14	16	16	15	11	8	6	11
LERIDA	7	9	10	12	15	17	20	19	17	14	10	7	13
LOGROÑO	7	8	10	11	13	16	18	18	16	13	10	8	12
LUGO	7	8	9	10	11	13	15	15	14	12	9	8	11
MADRID	8	8	10	12	14	17	20	19	17	13	10	8	13
MALAGA	12	12	13	14	16	18	20	20	19	16	14	12	16
MURCIA	11	11	12	13	15	17	19	20	18	16	13	11	15
PAMPLONA	7	8	9	10	12	15	17	17	16	13	9	7	12
ORENSE	8	10	11	12	14	16	18	18	17	13	11	9	13
OVIEDO	9	9	10	10	12	14	15	16	15	13	10	9	12
PALENCIA	6	7	8	10	12	15	17	17	15	12	9	6	11
PALMA DE MALLORCA	11	11	12	13	15	18	20	20	19	17	14	12	15
PALMAS, LAS	15	15	16	16	17	18	19	19	19	18	17	16	17
PONTEVEDRA	10	11	11	13	14	16	17	17	16	14	12	10	13
SALAMANCA	6	7	8	10	12	15	17	17	15	12	8	6	11
SAN SEBASTIAN	9	9	10	11	12	14	16	16	15	14	11	9	12
SANTANDER	10	10	11	11	13	15	16	16	16	14	12	10	13
SEGOVIA	6	7	8	10	12	15	18	18	15	12	8	6	11
SEVILLA	11	11	13	14	16	19	21	21	20	16	13	11	16
SORIA	5	6	7	9	11	14	17	16	14	11	8	6	10
TARRAGONA	10	11	12	14	16	18	20	20	19	16	12	11	15
SANTA C. TENERIFE	15	15	16	16	17	18	20	20	20	18	17	16	17
TERUEL	6	7	8	10	12	15	18	17	15	12	8	6	11
TOLEDO	8	9	11	12	15	18	21	20	18	14	11	8	14
VALENCIA	10	11	12	13	15	17	19	20	18	16	13	11	15
VALLADOLID	6	8	9	10	12	15	18	18	16	12	9	7	12
VITORIA	7	7	8	10	12	14	16	16	14	12	8	7	11
ZAMORA	6	8	9	10	13	16	18	18	16	12	9	7	12
ZARAGOZA	8	9	10	12	15	17	20	19	17	14	10	8	13

Si la localidad no es una capital de provincia se tiene que calcular la temperatura del agua de la red ( $T_{red, lcl}$ ), mediante la siguiente aproximación matemática:

$$T_{red, lcl} = T_{red, cpt} - \beta \cdot \Delta Z$$

donde

- $\beta=0.0066$  Para los meses de octubre a marzo
- $\beta=0.0033$  Para los meses de abril a septiembre
- $\Delta Z = Z_{lcl} - Z_{cpt}$  Diferencia de cotas en m entre la capital ( $Z_{cpt}$ ) y la localidad en estudio ( $Z_{lcl}$ ).

La altura de la capital en tabla se obtiene de la siguiente tabla (tabla D.1 del CTE DB HE-1) en la que además se indica las zonas climáticas de las capitales de provincia.

**Tabla 15.2:** Altura sobre el nivel del mar y zona climática de las capitales de provincia.

CAPITAL	Capital y hasta 200 m	Altura de referencia	Desnivel entre la localidad y la capital de su provincia (m)				
		(m)	200 - 400	400 - 600	600 - 800	800 - 1.000	Más de 1.000
Albacete	D3	677	D2	E1	E1	E1	E1
Alicante	B4	7	C3	C1	D1	D1	E1
Almería	A4	0	B3	B3	C1	C1	D1
Ávila	E1	1.054	E1	E1	E1	E1	E1
Badajoz	C4	168	C3	D1	D1	E1	E1
Barcelona	C2	1	C1	D1	D1	E1	E1
Bilbao	C1	214	D1	D1	E1	E1	E1
Burgos	E1	861	E1	E1	E1	E1	E1
Cáceres	C4	385	D3	D1	E1	E1	E1
Cádiz	A3	0	B3	B3	C1	C1	D1
Castellón de la Plana	B3	18	C2	C1	D1	D1	E1
Ceuta	B3	0	B3	C1	C1	D1	D1
Ciudad Real	D3	630	D2	E1	E1	E1	E1
Córdoba	B4	113	C3	C2	D1	D1	E1
Coruña	C1	0	C1	D1	D1	E1	E1
Cuenca	D2	975	E1	E1	E1	E1	E1
Donostia	C1	5	D1	D1	E1	E1	E1
Girona	C2	143	D1	D1	E1	E1	E1
Granada	C3	754	D2	D1	E1	E1	E1
Guadalajara	D3	708	D1	E1	E1	E1	E1
Huelva	B4	50	B3	C1	C1	D1	D1
Huesca	D2	432	E1	E1	E1	E1	E1
Jaén	C4	436	C3	D2	D1	E1	E1
León	E1	346	E1	E1	E1	E1	E1
Lleida	D3	131	D2	E1	E1	E1	E1
Logroño	D2	379	D1	E1	E1	E1	E1
Lugo	D1	412	E1	E1	E1	E1	E1
Madrid	D3	589	D1	E1	E1	E1	E1
Málaga	A3	0	B3	C1	C1	D1	D1
Melilla	A3	130	B3	B3	C1	C1	D1
Murcia	B3	25	C2	C1	D1	D1	E1
Ourense	C2	327	D1	E1	E1	E1	E1
Oviedo	C1	214	D1	D1	E1	E1	E1
Palencia	D1	722	E1	E1	E1	E1	E1
Palma de Mallorca	B3	1	B3	C1	C1	D1	D1
Palmas de Gran Canaria	A3	114	A3	A3	A3	B3	B3
Pamplona	D1	456	E1	E1	E1	E1	E1
Pontevedra	C1	77	C1	D1	D1	E1	E1
Salamanca	D2	770	E1	E1	E1	E1	E1
Santa Cruz de Tenerife	A3	0	A3	A3	A3	B3	B3
Santander	C1	1	C1	D1	D1	E1	E1
Segovia	D2	1.013	E1	E1	E1	E1	E1
Sevilla	B4	9	B3	C2	C1	D1	E1
Soria	E1	984	E1	E1	E1	E1	E1
Tarragona	B3	1	C2	C1	D1	D1	E1
Teruel	D2	995	E1	E1	E1	E1	E1
Toledo	C4	445	D3	D2	E1	E1	E1
Valencia	B3	8	C2	C1	D1	D1	E1
Valladolid	D2	704	E1	E1	E1	E1	E1
Gasteiz	D1	512	E1	E1	E1	E1	E1
Zamora	D2	617	E1	E1	E1	E1	E1
Zaragoza	D3	207	D2	E1	E1	E1	E1

## 15.2. Temperatura exterior media

Se muestran en este apartado los valores de temperaturas medias exteriores mensuales y anuales obtenidos de CENSOLAR y del CTE DB HE-1. Como se citó todos los datos horarios se pueden obtener de CLIMED 1.3 y a partir de ellos obtener los valores medios cualesquiera deseados.

También se pueden obtener valores medios de temperaturas exteriores de la guía de eficiencia energética Documento Reconocido del RITE Condiciones exteriores de diseño.

**Tabla 15.3:** Tabla G.2 del CTE DB HE-1. Temperatura exterior media.

CAPITAL	TEMPERATURA MEDIA EXTERIOR (°C)												MEDIA ANUAL
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
Albacete	5,0	6,3	8,5	10,9	15,3	20,0	24,0	23,7	20,0	14,1	8,5	5,3	13,5
Alicante	11,6	12,4	13,8	15,7	18,6	22,2	25,0	25,5	23,2	19,1	15,0	12,1	17,9
Almería	12,4	13,0	14,4	16,1	18,7	22,3	25,5	26,0	24,1	20,1	16,2	13,3	18,5
Ávila	3,1	4,0	5,6	7,6	11,5	16,0	19,9	19,4	16,5	11,2	6,0	3,4	10,4
Badajoz	8,7	10,1	12,0	14,2	17,9	22,3	25,3	25,0	22,6	17,4	12,1	9,0	16,4
Barcelona	8,8	9,5	11,1	12,8	16,0	19,7	22,9	23,0	21,0	17,1	12,5	9,6	15,3
Bilbao	8,9	9,6	10,4	11,8	14,6	17,4	19,7	19,8	18,8	16,0	11,8	9,5	14,0
Burgos	2,6	3,9	5,7	7,6	11,2	15,0	18,4	18,3	15,8	11,1	5,8	3,2	9,9
Cáceres	7,8	9,3	11,7	13,0	16,6	22,3	26,1	25,4	23,6	17,4	12,0	8,8	16,2
Cádiz	12,8	13,5	14,7	16,2	18,7	21,5	24,0	24,5	23,5	20,1	16,1	13,3	18,2
Castellón de la Plana	10,1	11,1	12,7	14,2	17,2	21,3	24,1	24,5	22,3	18,3	13,5	11,2	16,7
Ceuta	11,5	11,6	12,6	13,9	16,3	18,8	21,7	22,2	20,2	17,7	14,1	12,1	16,1
Ciudad Real	5,7	7,2	9,6	11,9	16,0	20,8	25,0	24,7	21,0	14,8	9,1	5,9	14,3
Córdoba	9,5	10,9	13,1	15,2	19,2	23,1	26,9	26,7	23,7	18,4	12,9	9,7	17,4
Coruña	10,2	10,5	11,3	12,1	14,1	16,4	18,4	18,9	18,1	15,7	12,7	10,9	14,1
Cuenca	4,2	5,2	7,4	9,6	13,6	18,2	22,4	22,1	18,6	12,9	7,6	4,8	12,2
Donostia	7,9	8,5	9,4	10,7	13,5	16,1	18,4	18,7	18,0	15,2	10,9	8,6	13,0
Girona	6,8	7,9	9,8	11,6	15,4	19,4	22,8	22,4	19,9	15,2	10,2	7,7	14,1
Granada	6,5	8,4	10,5	12,4	16,3	21,1	24,3	24,1	21,1	15,4	10,6	7,4	14,8
Guadalajara	5,5	6,8	8,8	11,6	15,3	19,8	23,5	22,8	19,5	14,1	9,0	5,9	13,6
Huelva	12,2	12,8	14,4	16,5	19,2	22,2	25,3	25,7	23,7	20,0	15,4	12,5	18,3
Huesca	4,7	6,7	9,0	11,3	15,3	19,5	23,3	22,7	19,7	14,6	8,7	5,3	13,4
Jaén	8,7	9,9	12,0	14,3	18,5	23,1	27,2	27,1	23,6	17,6	12,2	8,7	16,9
León	3,1	4,4	6,6	8,6	12,1	16,4	19,7	19,1	16,7	11,7	6,8	3,8	10,8
Lleida	5,5	7,8	10,3	13,0	17,1	21,2	24,8	24,0	21,1	15,7	9,2	5,8	14,6
Logroño	5,8	7,3	9,4	11,5	15,1	19,0	22,2	21,8	19,2	14,4	9,1	6,3	13,4
Lugo	5,8	6,5	7,8	9,5	11,7	14,9	17,2	17,5	16,0	12,5	8,6	6,3	11,2
Madrid	6,2	7,4	9,9	12,2	16,0	20,7	24,4	23,9	20,5	14,7	9,4	6,4	14,3
Málaga	12,2	12,8	14,0	15,8	18,7	22,1	24,7	25,3	23,1	19,1	15,1	12,6	18,0
Melilla	13,2	13,8	14,6	15,9	18,3	21,5	24,4	25,3	23,5	20,0	16,6	14,1	18,4
Murcia	10,6	11,4	12,6	14,5	17,4	21,0	23,9	24,6	22,5	18,7	14,3	11,3	16,9
Ourense	7,4	9,3	10,7	12,4	15,3	19,3	21,9	21,7	19,8	15,0	10,6	8,2	14,3
Oviedo	7,5	8,5	9,5	10,3	12,8	15,8	18,0	18,3	17,4	14,0	10,4	8,7	12,6
Palencia	4,1	5,6	7,5	9,5	13,0	17,2	20,7	20,3	17,9	13,0	7,6	4,4	11,7
Palma de Mallorca	11,6	11,8	12,9	14,7	17,6	21,8	24,6	25,3	23,5	20,0	15,6	13,0	17,7
Palmas de Gran Canaria	17,5	17,6	18,3	18,7	19,9	21,4	23,2	24,0	23,9	22,5	20,4	18,3	20,5
Pamplona	4,5	6,5	8,0	9,9	13,3	17,3	20,5	20,3	18,2	13,7	8,3	5,7	12,2
Pontevedra	9,9	10,7	11,9	13,6	15,4	18,8	20,7	20,5	19,1	16,1	12,6	10,3	15,0
Salamanca	3,7	5,3	7,3	9,6	13,4	17,8	21,0	20,3	18,5	12,3	7,0	4,1	11,7
Santa Cruz de Tenerife	17,9	18,0	18,6	19,1	20,5	22,2	24,6	25,1	24,4	22,4	20,7	18,8	21,0
Santander	9,7	10,3	10,8	11,9	14,3	17,0	19,3	19,5	18,5	16,1	12,5	10,5	14,2
Segovia	4,1	5,2	7,1	9,1	13,1	17,7	21,6	21,2	17,9	12,6	7,3	4,3	11,8
Sevilla	10,7	11,9	14,0	16,0	19,6	23,4	26,8	26,8	24,4	19,5	14,3	11,1	18,2
Soria	2,9	4,0	5,8	8,0	11,8	16,1	19,9	19,5	16,5	11,3	6,1	3,4	10,4
Tarragona	10,0	11,3	13,1	15,3	18,4	22,2	25,3	25,3	22,7	18,4	13,5	10,7	17,2
Teruel	3,8	4,8	6,8	9,3	12,6	17,5	21,3	20,6	17,9	12,1	7,0	4,5	11,5
Toledo	6,1	8,1	10,9	12,8	16,8	22,5	26,5	25,7	22,6	16,2	10,7	7,1	15,5
Valencia	10,4	11,4	12,6	14,5	17,4	21,1	24,0	24,5	22,3	18,3	13,7	10,9	16,8
Valladolid	4,1	6,1	8,1	9,9	13,3	18,0	21,5	21,3	18,6	12,9	7,6	4,8	12,2
Gasteiz	4,6	6,0	7,2	9,2	12,4	15,6	18,3	18,5	16,5	12,7	7,5	5,0	11,1
Zamora	4,3	6,3	8,3	10,5	14,0	18,5	21,8	21,3	18,7	13,4	8,1	4,9	12,5
Zaragoza	6,2	8,0	10,3	12,8	16,8	21,0	24,3	23,8	20,7	15,4	9,7	6,5	14,6

Tabla 15.4: Datos de CENSOLAR. Temperatura exterior media.

UBICACION	TEMPERATURA MEDIA EXTERIOR (°C)											T° DISEÑO	
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV		DIC
ALBACETE	4	6	9	11	15	22	24	24	18	14	9	5	-7
ALICANTE	11	12	14	16	19	23	25	26	24	19	15	12	0
ALMERIA	12	12	14	16	18	22	25	25	23	19	16	13	4
AVILA	2	3	6	9	12	16	20	20	16	11	6	3	-8
BADAJOZ	9	10	13	15	18	23	26	25	23	18	13	9	-2
BARCELONA	9	10	12	15	18	22	24	24	22	17	13	10	2
BILBAO	7	11	11	11	14	16	18	19	18	16	12	12	0
BURGOS	2	5	7	9	12	16	19	19	16	11	6	3	-7
CACERES	8	9	12	14	17	22	26	26	22	17	12	8	-1
CADIZ	11	12	15	17	19	22	24	25	23	19	16	12	1
CASTELLON	10	11	13	15	18	22	24	25	23	19	14	11	1
CIUDAD REAL	5	7	10	13	16	21	25	25	21	15	9	6	-4
CORDOBA	9	11	13	16	19	24	28	28	24	19	14	10	-1
CORUÑA, LA	10	10	11	12	14	16	18	19	18	15	12	10	2
CUENCA	3	4	7	10	13	18	22	21	18	12	7	4	-7
GERONA	7	8	11	13	17	21	23	23	21	16	11	8	-3
GRANADA	7	8	11	13	16	22	26	25	22	16	12	8	-2
GUADALAJARA	3	6	9	12	16	20	24	23	20	14	8	5	-4
HUELVA	11	12	14	18	19	22	25	25	23	19	15	12	1
HUESCA	5	6	10	12	16	20	23	22	19	14	9	5	-5
JAEN	8	10	12	14	18	24	28	27	23	18	13	9	0
LEON	3	4	8	10	12	17	20	19	17	12	7	4	-6
LERIDA	5	9	11	12	16	20	24	24	22	15	8	7	-5
LOGROÑO	5	6	10	12	15	19	22	21	19	14	9	6	-3
LUGO	6	7	9	11	13	16	18	17	17	13	9	6	-2
MADRID	5	6	10	13	16	21	24	24	20	14	9	6	-3
MALAGA	12	13	15	16	19	23	25	26	23	20	16	13	4
MURCIA	11	12	14	16	19	23	26	26	24	19	14	12	-1
PAMPLONA	5	5	9	11	14	18	20	20	18	13	8	5	-5
ORENSE	7	7	11	13	16	19	22	21	19	14	9	7	-3
OVIEDO	9	9	11	12	14	17	20	19	18	15	12	10	-2
PALENCIA	3	5	8	10	13	18	21	21	18	12	7	4	-6
PALMA DE MALLORCA	10	10	12	14	17	21	24	24	23	18	14	12	0
PALMAS, LAS	18	20	19	20	20	21	24	24	26	23	22	20	12
PONTEVEDRA	9	10	12	14	16	18	20	20	18	15	12	9	0
RIOJA ALAVESA	5	6	10	12	15	19	22	21	19	14	9	6	-3
SALAMANCA	4	5	8	10	14	18	21	21	18	12	7	4	-7
SAN SEBASTIAN	8	8	11	12	10	17	15	19	18	15	11	8	-1
SANTANDER	9	9	11	12	14	17	19	19	18	15	12	10	2
SEGOVIA	2	4	8	10	13	18	22	21	17	12	7	3	-6
SEVILLA	10	12	15	17	20	25	28	28	25	20	15	11	1
SORIA	2	3	7	9	12	16	20	19	16	11	6	3	-7
TARRAGONA	9	10	12	14	17	20	23	23	21	18	13	10	1
SANTA C. TENERIFE	17	17	18	19	20	22	24	25	24	23	20	18	12
TERUEL	2	3	7	9	13	17	19	19	17	11	7	3	-8
TOLEDO	6	7	11	13	17	22	26	25	21	15	10	6	-4
VALENCIA	10	11	13	15	18	22	24	24	22	18	14	11	0
VALLADOLID	3	5	9	11	14	18	21	20	18	13	8	4	-5
VITORIA	5	5	9	10	13	17	19	19	17	13	8	5	-4
ZAMORA	4	5	9	11	14	19	22	21	18	13	7	4	-6
ZARAGOZA	6	8	11	14	17	21	23	24	21	15	10	7	-3

### 15.3. Radiación solar sobre una superficie

Se dan los datos para un cálculo aproximado de la radiación en cada localidad, para las diferentes orientaciones e inclinaciones; se incluye una tabla con la radiación solar ( $\text{kWh/m}^2\cdot\text{día}$ ) para las capitales de provincia, asimismo se incluye otra tabla con el porcentaje de variación de la radiación respecto a la superficie horizontal, para diversas orientaciones e inclinaciones del campo de captadores; esta última corresponde a una latitud de  $41^\circ$ , la misma es válida, con errores asumibles, para toda la península; con ambas tablas se puede estimar la radiación en cualquier posición, como se muestra en el siguiente ejemplo:

MADRID: RADIACION SOLAR ( $\text{kWh/m}^2\cdot\text{día}$ )												
HORIZONTAL	1,88	2,66	3,79	4,84	5,94	6,64	7,19	6,40	4,78	3,27	2,13	1,66
COEFICIENTE DE CORRECCION DE LA RADIACION PARA ORIENTACION 45° SE INCLINACION 50°												
COEFICIENTES	1,18	0,97	0,90	0,90	0,92	0,92	0,92	0,91	0,90	0,93	1,12	1,29
MADRID: RADIACION SOLAR ( $\text{kWh/m}^2\cdot\text{día}$ ) ORIENTACION 45° SE INCLINACION 50°												
SO 45° INCLINACION 50°	2,22	2,58	3,43	4,35	5,46	6,13	6,62	5,84	4,29	3,05	2,39	2,14

**Tabla 15.5:** Porcentaje de radiación incidente respecto a la radiación horizontal

		LATITUD 41°N											
ORIENTACION	Inclin.	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
		31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
SUR	0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	10	1,11	1,04	1,02	1,04	1,07	1,07	1,07	1,06	1,03	1,03	1,09	1,15
	20	1,20	1,06	1,02	1,02	1,05	1,05	1,05	1,04	1,02	1,03	1,17	1,27
	30	1,27	1,07	1,00	0,99	1,02	1,02	1,02	1,01	0,99	1,03	1,22	1,37
	40	1,31	1,06	0,97	0,95	0,97	0,98	0,97	0,97	0,96	1,01	1,24	1,45
	50	1,33	1,03	0,93	0,90	0,92	0,92	0,92	0,91	0,91	0,97	1,25	1,49
	60	1,32	0,99	0,87	0,84	0,86	0,86	0,86	0,85	0,85	0,92	1,23	1,49
	70	1,28	0,93	0,81	0,77	0,79	0,79	0,79	0,78	0,78	0,86	1,18	1,47
	80	1,22	0,86	0,74	0,70	0,71	0,72	0,71	0,71	0,71	0,79	1,12	1,41
	90	1,13	0,77	0,66	0,62	0,64	0,64	0,64	0,63	0,63	0,71	1,03	1,32
SE, SO (30°)	0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	10	1,10	1,04	1,02	1,04	1,07	1,07	1,07	1,06	1,03	1,02	1,08	1,13
	20	1,17	1,05	1,02	1,02	1,05	1,05	1,05	1,04	1,02	1,03	1,14	1,23
	30	1,23	1,05	1,00	0,99	1,02	1,02	1,02	1,01	0,99	1,02	1,18	1,31
	40	1,25	1,03	0,96	0,95	0,97	0,98	0,97	0,97	0,95	0,99	1,20	1,37
	50	1,26	1,00	0,92	0,90	0,92	0,92	0,92	0,91	0,90	0,95	1,19	1,39
	60	1,24	0,95	0,86	0,84	0,86	0,86	0,86	0,85	0,84	0,90	1,16	1,39
	70	1,19	0,89	0,80	0,77	0,79	0,79	0,79	0,78	0,78	0,84	1,11	1,35
	80	1,13	0,82	0,72	0,70	0,71	0,72	0,71	0,71	0,70	0,77	1,04	1,29
	90	1,04	0,74	0,64	0,62	0,64	0,64	0,64	0,63	0,63	0,69	0,95	1,20
SE, SO (45°)	0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	10	1,08	1,03	1,02	1,04	1,07	1,07	1,07	1,06	1,03	1,02	1,06	1,10
	20	1,14	1,04	1,01	1,02	1,05	1,05	1,05	1,04	1,02	1,02	1,11	1,18
	30	1,17	1,03	0,99	0,99	1,02	1,02	1,02	1,01	0,99	1,00	1,13	1,24
	40	1,19	1,01	0,95	0,95	0,97	0,98	0,97	0,97	0,95	0,97	1,14	1,28
	50	1,18	0,97	0,90	0,90	0,92	0,92	0,92	0,91	0,90	0,93	1,12	1,29
	60	1,15	0,92	0,85	0,84	0,86	0,86	0,86	0,85	0,84	0,88	1,08	1,27
	70	1,09	0,86	0,78	0,77	0,79	0,79	0,79	0,78	0,77	0,81	1,03	1,22
	80	1,03	0,78	0,71	0,70	0,71	0,72	0,71	0,71	0,70	0,74	0,96	1,16
	90	0,94	0,70	0,63	0,62	0,64	0,64	0,64	0,63	0,62	0,66	0,87	1,07
SE, SO (60°)	0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	10	1,05	1,02	1,02	1,04	1,07	1,07	1,07	1,06	1,03	1,01	1,04	1,07
	20	1,09	1,02	1,00	1,02	1,05	1,05	1,05	1,04	1,01	1,00	1,07	1,12
	30	1,10	1,00	0,98	0,99	1,02	1,02	1,02	1,01	0,98	0,98	1,07	1,15
	40	1,10	0,97	0,94	0,95	0,97	0,98	0,97	0,96	0,94	0,95	1,06	1,17
	50	1,08	0,93	0,89	0,90	0,92	0,92	0,92	0,91	0,89	0,90	1,04	1,16
	60	1,04	0,87	0,83	0,83	0,86	0,86	0,86	0,85	0,83	0,84	0,99	1,13
	70	0,98	0,81	0,76	0,77	0,79	0,79	0,79	0,78	0,76	0,78	0,93	1,07
	80	0,91	0,74	0,69	0,69	0,71	0,72	0,71	0,71	0,69	0,71	0,86	1,01
	90	0,82	0,66	0,61	0,62	0,64	0,64	0,64	0,63	0,61	0,63	0,77	0,92
ESTE, OESTE	0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	10	0,99	1,00	1,01	1,04	1,07	1,07	1,07	1,06	1,02	0,99	0,99	0,99
	20	0,98	0,97	0,99	1,02	1,05	1,05	1,05	1,04	1,00	0,97	0,97	0,98
	30	0,94	0,94	0,95	0,99	1,01	1,02	1,02	1,01	0,97	0,94	0,94	0,95
	40	0,91	0,89	0,91	0,94	0,97	0,98	0,97	0,96	0,93	0,89	0,90	0,92
	50	0,86	0,84	0,85	0,89	0,92	0,92	0,92	0,91	0,87	0,84	0,85	0,88
	60	0,81	0,78	0,79	0,83	0,85	0,86	0,86	0,84	0,81	0,78	0,80	0,83
	70	0,75	0,71	0,72	0,76	0,78	0,79	0,79	0,78	0,74	0,71	0,74	0,77
	80	0,68	0,65	0,65	0,69	0,71	0,72	0,71	0,70	0,67	0,64	0,67	0,71
	90	0,62	0,58	0,58	0,61	0,63	0,64	0,64	0,63	0,60	0,57	0,60	0,65
NE, NO (135°)	0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	10	0,91	0,96	0,99	1,04	1,07	1,07	1,07	1,06	1,02	0,97	0,92	0,88
	20	0,82	0,91	0,96	1,01	1,05	1,05	1,05	1,04	0,99	0,93	0,84	0,77
	30	0,73	0,85	0,92	0,98	1,01	1,02	1,02	1,00	0,96	0,88	0,76	0,68
	40	0,67	0,79	0,86	0,94	0,97	0,98	0,97	0,96	0,91	0,82	0,70	0,62
	50	0,62	0,73	0,81	0,88	0,91	0,92	0,92	0,90	0,85	0,76	0,65	0,58
	60	0,58	0,68	0,75	0,82	0,85	0,86	0,86	0,84	0,79	0,70	0,60	0,54
	70	0,53	0,62	0,69	0,75	0,78	0,79	0,79	0,77	0,72	0,65	0,55	0,50
	80	0,49	0,57	0,62	0,68	0,71	0,72	0,71	0,70	0,66	0,59	0,51	0,46
	90	0,45	0,51	0,56	0,61	0,63	0,64	0,64	0,63	0,59	0,53	0,46	0,42
NORTE	0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	10	0,87	0,95	0,99	1,04	1,07	1,07	1,07	1,06	1,02	0,96	0,89	0,84
	20	0,74	0,88	0,95	1,01	1,05	1,05	1,05	1,04	0,99	0,91	0,78	0,67
	30	0,65	0,81	0,90	0,98	1,01	1,02	1,02	1,00	0,95	0,85	0,68	0,60
	40	0,62	0,75	0,84	0,93	0,97	0,98	0,97	0,96	0,90	0,78	0,65	0,58
	50	0,59	0,71	0,79	0,88	0,91	0,92	0,92	0,90	0,84	0,74	0,62	0,55
	60	0,56	0,67	0,74	0,81	0,85	0,86	0,85	0,84	0,78	0,69	0,58	0,52
	70	0,52	0,62	0,68	0,75	0,78	0,79	0,79	0,77	0,72	0,64	0,54	0,49
	80	0,48	0,56	0,62	0,68	0,71	0,71	0,71	0,70	0,65	0,58	0,50	0,45
	90	0,44	0,51	0,56	0,61	0,63	0,64	0,64	0,63	0,59	0,53	0,46	0,41



Tabla 15.6: Radiación sobre superficie horizontal

RADIACION SOLAR SOBRE SUPERFICIE HORIZONTAL (kWh/(m <sup>2</sup> ·día))														
CIUDAD	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	AÑO	DIA
A CORUÑA	1,47	2,17	3,17	4,21	5,06	5,73	6,06	5,48	3,97	2,84	1,72	1,26	1.316	3,60
ALAVA	1,45	2,22	3,08	3,98	5,10	5,83	5,95	5,35	4,03	2,80	1,66	1,19	1.299	3,56
ALBACETE	2,16	3,05	4,15	5,21	6,25	6,94	7,37	6,55	5,06	3,61	2,43	1,94	1.668	4,57
ALICANTE	2,55	3,38	4,52	5,59	6,54	7,05	7,28	6,46	5,20	3,93	2,79	2,27	1.753	4,80
ALMERIA	2,70	3,51	4,43	5,55	6,70	7,26	7,35	6,58	5,30	3,97	2,92	2,46	1.789	4,90
ASTURIAS	1,24	1,87	2,66	3,33	4,23	4,70	4,80	4,24	3,45	2,38	1,48	1,08	1.080	2,96
AVILA	2,01	2,76	3,84	4,84	6,00	6,72	7,37	6,67	4,93	3,35	2,18	1,72	1.597	4,38
BADAJOS	2,22	3,07	4,27	5,36	6,61	7,10	7,64	6,88	5,22	3,75	2,60	1,98	1.728	4,73
BARCELONA	2,01	2,85	3,82	4,90	5,89	6,40	6,74	5,80	4,41	3,22	2,22	1,83	1.526	4,18
BURGOS	1,42	2,21	3,34	4,21	5,46	6,53	7,13	6,32	4,52	2,92	1,80	1,20	1.435	3,93
CACERES	2,21	2,94	4,42	4,76	6,40	7,05	7,59	6,78	5,03	3,49	2,24	1,78	1.667	4,57
CADIZ	2,58	3,42	4,55	5,66	6,85	7,30	7,55	7,01	5,39	4,12	2,89	2,37	1.819	4,98
CANTABRIA	1,24	1,87	2,66	3,33	4,23	4,70	4,80	4,24	3,45	2,38	1,48	1,08	1.080	2,96
CASTELLON	2,36	3,10	4,19	5,10	6,09	6,65	6,85	5,91	4,81	3,52	2,57	2,06	1.621	4,44
CEUTA	2,41	3,07	4,04	5,20	5,92	6,83	6,72	6,28	5,15	3,53	2,74	2,30	1.651	4,52
CIUDAD REAL	2,06	2,91	4,07	5,08	6,42	7,01	7,60	6,82	5,05	3,54	2,38	1,83	1.670	4,57
CORDOBA	2,45	3,21	4,20	5,06	6,41	7,09	7,55	6,92	5,21	3,74	2,80	2,22	1.733	4,75
CUENCA	1,94	2,69	3,78	4,68	5,81	6,61	7,27	6,48	4,83	3,35	2,21	1,71	1.566	4,29
GIRONA	1,99	2,62	3,52	4,50	5,21	5,74	6,28	5,48	4,16	3,03	2,17	1,74	1.415	3,88
GRANADA	2,50	3,25	4,42	5,32	6,66	7,41	7,71	6,96	5,31	3,87	2,75	2,21	1.779	4,87
GUADALAJARA	1,70	2,38	3,36	4,33	5,43	6,22	7,08	6,31	4,62	3,09	1,97	1,56	1.465	4,01
GUIPUZCOA	1,41	2,01	2,95	3,59	4,55	5,04	5,15	4,57	3,75	2,59	1,67	1,22	1.173	3,21
HUELVA	2,35	3,09	4,23	5,56	6,57	7,13	7,57	6,85	5,44	3,88	2,68	2,16	1.753	4,80
HUESCA	1,83	2,87	4,03	5,24	6,08	6,79	7,20	6,30	4,77	3,33	2,15	1,64	1.592	4,36
ILLES BALEARS	2,30	2,99	4,13	4,98	6,33	6,88	7,04	6,37	4,91	3,55	2,55	2,09	1.650	4,52
JAEN	2,41	3,18	4,27	5,24	6,64	7,29	7,72	6,86	5,33	3,81	2,94	2,10	1.761	4,83
LA RIOJA	1,60	2,52	3,57	4,47	5,41	6,35	6,72	6,00	4,44	3,07	1,86	1,39	1.445	3,96
LAS PALMAS	3,72	4,44	5,34	6,13	6,62	6,74	6,75	6,35	5,68	4,77	3,92	3,46	1.946	5,33
LEON	1,77	2,57	3,76	4,79	5,79	6,57	7,08	6,25	4,55	3,06	2,04	1,54	1.517	4,16
LUGO	1,36	2,09	3,11	4,27	4,84	5,70	5,81	5,27	3,80	2,64	1,61	1,14	1.269	3,48
LLEIDA	1,84	2,96	4,28	5,45	6,49	7,19	7,38	6,50	5,09	3,49	2,21	1,68	1.663	4,56
MADRID	1,88	2,66	3,79	4,84	5,94	6,64	7,19	6,40	4,78	3,27	2,13	1,66	1.561	4,28
MALAGA	2,60	3,35	4,47	5,37	6,65	7,18	7,37	6,69	5,25	3,91	2,83	2,34	1.767	4,84
MELILLA	2,63	3,26	4,17	5,12	5,94	6,42	6,34	5,85	4,55	3,69	2,81	2,38	1.619	4,43
MURCIA	2,44	3,24	3,98	4,98	6,09	6,44	6,51	5,85	4,60	3,63	2,64	2,16	1.601	4,39
NAVARRA	1,47	2,30	3,44	4,24	5,19	6,32	6,73	5,86	4,59	2,95	1,79	1,31	1.408	3,86
OURENSE	1,38	2,05	3,25	4,31	4,99	5,73	6,11	5,80	4,33	2,66	1,66	1,20	1.325	3,63
PALENCIA	1,63	2,67	3,75	4,96	6,20	6,98	7,53	6,68	4,75	3,21	2,10	1,34	1.579	4,33
PONTEVEDRA	1,64	2,29	3,61	4,90	5,57	6,81	7,08	6,42	4,65	3,20	2,01	1,53	1.516	4,15
SALAMANCA	1,84	2,79	3,94	5,02	6,27	7,02	7,54	6,80	4,93	3,37	2,19	1,59	1.625	4,45
TENERIFE	3,70	4,61	5,41	6,28	6,83	7,04	7,29	6,98	6,09	4,97	3,99	3,46	2.028	5,56
SEGOVIA	1,71	2,39	3,47	4,36	5,49	6,39	7,19	6,47	4,72	3,06	1,96	1,49	1.486	4,07
SEVILLA	2,54	3,40	4,45	5,49	6,71	7,19	7,57	6,89	5,33	3,97	2,84	2,31	1.788	4,90
SORIA	1,68	2,39	3,47	4,50	5,68	6,67	7,26	6,37	4,56	3,00	1,92	1,53	1.495	4,10
TARRAGONA	2,19	2,91	4,16	5,13	5,95	6,54	6,86	5,91	4,68	3,43	2,39	1,97	1.588	4,35
TERUEL	1,99	2,82	3,81	4,91	5,64	6,28	6,95	6,28	4,83	3,52	2,37	1,63	1.555	4,26
TOLEDO	2,16	2,91	4,34	5,05	6,31	7,24	7,64	6,83	5,07	3,53	2,23	1,77	1.679	4,60
VALENCIA	2,32	3,04	4,16	5,14	6,02	6,44	6,77	6,07	4,89	3,56	2,50	2,05	1.614	4,42
VALLADOLID	1,50	2,48	3,81	4,89	6,06	6,87	7,46	6,72	4,80	3,17	1,87	1,28	1.553	4,25
VIZCAYA	1,24	1,87	2,66	3,33	4,23	4,70	4,80	4,24	3,45	2,38	1,48	1,08	1.080	2,96
ZAMORA	1,69	2,72	3,92	5,11	6,14	6,95	7,46	6,65	4,89	3,31	2,10	1,46	1.598	4,38
ZARAGOZA	1,78	2,72	3,83	4,83	5,98	6,62	7,03	6,25	4,59	3,23	2,07	1,57	1.539	4,22

FUENTE: FICHEROS \*.bin CTE

Tras la radiación solar el factor climático que ejerce mayor influencia sobre el comportamiento de una instalación solar normalmente es la temperatura ambiente. En la siguiente tabla se da la temperatura media durante las horas solares.

**Tabla 15.7:** Temperatura media en las horas de sol °C

TEMPERATURA MEDIA (°C) EN LAS HORAS DE SOL													
CIUDAD	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	AÑO
A CORUÑA	11,8	12,0	12,9	13,5	15,4	17,8	19,7	20,2	19,7	17,4	14,2	12,4	15,6
ALAVA	6,3	8,1	9,9	11,0	14,8	18,0	20,8	21,3	19,5	15,2	9,7	6,6	13,5
ALBACETE	7,5	9,2	11,7	13,7	18,4	22,8	27,5	27,0	23,4	17,3	11,5	7,9	16,5
ALICANTE	14,2	15,2	16,5	18,2	21,0	24,3	27,4	28,1	25,8	22,0	17,7	14,8	20,5
ALMERIA	14,7	15,3	16,7	18,1	20,9	24,4	27,5	27,9	26,1	22,4	18,4	15,6	20,7
ASTURIAS	10,9	12,2	12,9	14,0	16,9	19,1	22,0	22,2	21,3	18,5	14,2	11,7	16,3
AVILA	4,9	6,2	7,9	9,7	13,8	18,3	22,8	22,1	19,3	13,5	8,3	5,2	12,7
BADAJOS	11,2	13,2	15,0	17,0	20,9	25,5	28,9	28,5	26,2	20,4	15,1	11,2	19,5
BARCELONA	11,1	12,0	13,4	14,9	17,7	21,4	24,5	25,0	23,0	19,2	14,7	12,0	17,4
BILBAO	10,9	12,2	12,9	14,0	16,9	19,1	22,0	22,2	21,3	18,5	14,1	11,7	16,3
BURGOS	4,8	6,2	8,2	10,0	13,6	17,6	21,4	21,5	19,2	13,9	8,2	5,1	12,5
CACERES	10,1	11,5	14,2	15,3	19,1	25,2	29,0	28,2	26,9	19,9	14,3	10,5	18,7
CADIZ	14,3	15,0	16,1	17,6	20,0	22,9	25,4	25,9	25,0	21,6	17,9	14,7	19,7
CANTABRIA	10,9	12,2	12,9	14,0	16,9	19,1	22,0	22,2	21,3	18,5	14,2	11,7	16,3
CASTELLON	12,6	13,9	15,3	16,5	19,5	23,1	26,1	26,5	24,6	20,8	16,0	13,8	19,1
CEUTA	13,2	13,3	14,4	15,8	18,4	21,1	23,8	24,3	22,4	19,5	15,9	14,0	18,0
CIUDAD REAL	8,1	10,2	12,6	14,7	19,2	23,9	28,8	28,3	24,5	17,8	12,0	8,2	17,4
CORDOBA	12,1	14,1	16,1	18,1	22,6	26,7	30,8	30,3	27,5	21,6	15,9	12,2	20,7
CUENCA	6,6	7,8	10,3	12,2	16,6	20,9	25,8	25,4	22,1	16,0	10,8	7,2	15,2
GIRONA	9,8	10,8	12,6	14,2	17,7	21,6	25,1	25,0	22,4	17,9	13,2	10,8	16,8
GRANADA	9,9	11,8	14,0	15,6	19,7	24,9	28,4	27,9	25,1	18,9	14,1	10,3	18,4
GUADALAJARA	7,3	9,1	11,5	13,9	18,1	22,5	26,9	26,1	22,9	17,0	11,7	7,9	16,3
GUIPUZCOA	9,3	10,0	10,9	11,8	15,0	17,4	19,7	20,0	19,7	16,9	12,6	10,0	14,5
HUELVA	14,4	15,3	16,7	18,8	21,4	24,4	27,5	28,0	26,3	22,3	17,7	14,5	20,6
HUESCA	6,5	9,2	11,6	13,9	18,1	22,1	26,0	25,7	22,5	17,2	10,9	7,1	15,9
ILLES BALEARS	13,5	13,6	14,8	16,3	19,1	23,3	26,1	27,0	25,2	21,9	17,4	14,9	19,5
JAEN	10,8	12,1	14,4	16,6	21,1	26,0	30,3	29,9	26,5	20,1	14,5	10,8	19,5
LA RIOJA	7,6	9,6	11,8	13,7	17,5	21,3	24,9	24,6	22,4	17,0	11,5	8,0	15,9
LAS PALMAS	19,0	19,1	20,0	20,1	21,3	22,8	24,6	25,3	25,1	24,0	22,0	19,8	21,9
LEON	5,3	6,6	9,3	11,2	14,9	18,8	23,0	22,3	19,9	14,3	9,2	6,1	13,4
LUGO	8,2	8,6	10,3	11,8	14,0	17,3	19,6	19,9	18,9	15,5	11,2	8,6	13,7
LLEIDA	7,4	10,6	13,2	15,7	19,7	23,7	27,2	26,9	23,8	18,5	11,6	7,8	17,2
MADRID	7,8	9,5	12,2	14,4	18,3	22,8	27,0	26,5	23,0	16,8	11,4	8,0	16,5
MALAGA	14,3	15,3	16,3	18,0	21,0	24,4	26,8	27,3	25,3	21,5	17,5	14,7	20,2
MELILLA	15,1	15,7	16,3	17,4	19,8	23,2	26,0	26,9	25,1	21,6	18,5	15,9	20,2
MURCIA	13,4	14,1	15,3	16,8	19,5	22,6	25,7	26,4	24,7	21,1	17,0	14,2	19,3
NAVARRA	6,7	8,9	10,5	12,2	15,6	19,7	23,2	23,4	21,3	16,5	11,0	7,8	14,8
OURENSE	9,9	11,9	13,8	15,1	18,2	22,4	24,9	24,7	23,3	27,9	13,5	10,8	18,1
PALENCIA	5,8	7,5	9,6	11,5	15,3	19,2	23,5	23,0	20,6	15,4	9,8	5,9	14,0
PONTEVEDRA	11,9	12,6	14,0	15,7	17,2	20,9	22,7	22,7	21,4	18,3	14,7	12,4	17,1
SALAMANCA	5,9	7,9	10,0	12,4	16,3	21,1	24,5	23,6	20,9	15,3	9,7	6,0	14,5
TENERIFE	19,5	19,4	20,1	20,5	21,9	23,7	26,2	26,7	25,9	24,2	22,2	20,2	22,6
SEGOVIA	5,6	7,1	9,4	11,3	15,5	20,0	24,7	24,0	20,6	14,9	9,3	5,9	14,1
SEVILLA	13,2	14,8	16,8	18,8	22,6	26,7	30,3	30,0	27,8	22,4	17,1	13,6	21,2
SORIA	5,0	6,4	8,6	10,4	14,5	18,7	23,0	22,9	19,9	14,3	8,7	5,6	13,2
TARRAGONA	12,5	13,9	15,8	17,8	20,6	24,3	27,5	27,7	25,2	21,0	15,9	13,0	19,6
TERUEL	6,5	8,0	9,9	12,1	15,4	20,2	24,7	24,0	21,4	15,3	10,1	7,0	14,6
TOLEDO	8,6	11,0	14,1	15,3	19,7	25,3	29,9	28,8	26,0	19,3	13,3	9,5	18,4
VALENCIA	13,2	14,1	15,5	16,9	19,7	22,9	25,9	26,4	24,6	20,9	16,5	13,8	19,2
VALLADOLID	6,4	8,7	11,0	12,4	16,2	20,7	25,2	24,6	22,3	15,8	10,4	6,7	15,1
VIZCAYA	10,9	12,2	12,9	14,0	16,9	19,1	22,0	22,2	21,3	18,4	14,1	11,7	16,3
ZAMORA	6,3	8,6	10,9	12,9	16,8	21,7	24,9	24,2	21,6	16,2	10,2	6,7	15,1
ZARAGOZA	8,2	10,5	12,9	15,4	19,4	23,5	27,0	26,7	23,5	18,1	12,1	8,3	17,2

FUENTE: FICHEROS \*.bin CTE

## 16. Anexo IV. Aislamiento en tuberías

En España se empiezan a legislar los niveles de aislamiento de las tuberías que vehiculan fluidos calientes y fríos desde el año 1975 con el Decreto 1490/1975 por el que se establecen medidas a adoptar en las edificaciones con el objeto de reducir el consumo de energía y a continuación con la aprobación del Reglamento de Instalaciones de Calefacción, Climatización y Agua Caliente Sanitaria (RICCACS) con el fin de racionalizar su consumo energético<sup>184</sup> bajo el RD 1618/1980.

Este reglamento ha sufrido cambios y actualizaciones, así se aprueba el Reglamento de Instalaciones Térmicas de Edificios (RITE) en el año 1998 bajo el RD 1751/1998 y el actual RITE publicado en 2007 bajo el RD 1027/2007.

En todas las tuberías y accesorios, así como equipos, aparatos y depósitos de las instalaciones térmicas dispondrán de un aislamiento térmico cuando contengan:

- Fluidos refrigerados con temperatura menor que la temperatura del ambiente del local por el que discurran.
- Fluidos con temperatura mayor que 40 °C cuando estén instalados en locales no calefactados, entre los que se deben considerar pasillos, galerías, patinillos, aparcamientos, salas de máquinas, falsos techos y suelos técnicos, entendiendo excluidas las tuberías de torres de refrigeración y las tuberías de descarga de compresores frigoríficos, salvo cuando estén al alcance de las personas.

El último RITE (RD 1027/2007), para calcular el espesor mínimo de aislamiento, se puede optar por el procedimiento simplificado o por el alternativo (en esta caso hay que calcular las pérdidas térmicas globales por el conjunto de conducciones comprobando que no superarán el 4% de la potencia máxima que transporta. Para ello existe la herramienta Documento Reconocido AISLAM).

En el procedimiento simplificado (en la mayor parte de las instalaciones, sobre todo en las de potencia inferior a 70 kW, el procedimiento a aplicar será el simplificado) los espesores mínimos de aislamiento térmicos son expresados en mm, en función del diámetro exterior de la tubería sin aislar y de la temperatura del fluido en el interior de la tubería y para un material con conductividad térmica de referencia a 10°C de  $\lambda_{ast} = 0,040 \text{ W/(mK)}$ .

Se reproducen a continuación los valores legislados en las diferentes modificaciones que se han publicado (se supone que antes de la publicación del primer texto, 1975, la red de tuberías estaba sin aislar).

El espesor mínimo de aislamiento se determina con los siguientes parámetros:

- Diámetro exterior de las tuberías. Fijadas las condiciones interiores del agua y exteriores del aire, cuanto mayor sea el diámetro exterior de las tuberías, mayores serán las pérdidas de calor, por ello se requiere mayor espesor de aislamiento térmico.

---

<sup>184</sup> El objetivo de los aislamientos térmicos también son (pero quedan fuera del alcance de este trabajo):

- Evitar las condensaciones superficiales.
- Reducir los riesgos, evitando el contacto accidental con superficies calientes.
- Reducir el riesgo de congelación de las tuberías que discurren por el exterior de los edificios.
- Minimizar el posible incremento de temperatura del agua de consumo humano.

Además también cumplen la misión de proteger las tuberías de la agresión de los materiales de la construcción y permitir la dilatación de las mismas.

- Temperatura del agua. Para una tubería dada, cuanto más alta sea la temperatura del fluido que se transporta mayores serán las pérdidas de calor y por lo tanto se requerirá mayor espesor de aislamiento.
- Ubicación de las tuberías. Las tuberías que se encuentran en el exterior de los edificios presentan mayores pérdidas de calor por dos motivos, porque las temperaturas exteriores son inferiores a las que se dan en el interior de los edificios y porque debido a la velocidad del viento se tiene un mayor coeficiente de convección exterior. Por ello el reglamento impone un incremento en el aislamiento térmico de las tuberías situadas en el exterior de los edificios.
- Horas de funcionamiento de la instalación. Evidentemente las pérdidas de energía dependen directamente del número de horas de funcionamiento de las instalaciones, por ello el RITE establece un espesor superior de aislamiento térmico para las instalaciones que funcionan todo el año, como son las de ACS.

Los niveles de aislamiento no dependen del material de la tubería por la que circula el fluido, y está claro que los niveles de conductividad térmica de un plástico son diferentes a los de un metal y ambos pueden ser materiales de tuberías.

Cada vez está más extendido el uso de tuberías de materiales termoplásticos, que no presentan riesgos de corrosión y menores incrustaciones interiores, además de tener una menor conductividad térmica que los metales y menos problemas de ruidos por la circulación de los fluidos en su interior<sup>185</sup>.

Debido a su menor conductividad térmica se ha extendido la idea de que este tipo de tuberías no requieren aislamiento térmico, lo cual es un gravísimo error. Es cierto que desde el punto de vista de protección contra condensaciones en muchas aplicaciones no lo requieren, sin embargo en el caso de fluidos calientes, o para reducir los riesgos de congelación o incremento excesivo de la temperatura del AFCH, es preciso utilizar aislamiento térmico.

Se reproduce en la siguiente tabla las tuberías (materiales) comúnmente utilizadas en las instalaciones de climatización y su conductividad térmica.

**Tabla 16.1:** Tipos de tuberías utilizadas en climatización

MATERIAL		SIMBOLO	$\lambda_{\text{tub}}$ (W/mK)
COBRE		CU	380
ACERO	Negro	AC	47-58
	Galvanizado	AC	
	Inoxidable	AC	14-16
POLICLORURO DE VINILO CLORADO		CPVC	0,14
POLICLORURO DE VINILO		PVC	0,14
POLIETILENO RETICULADO		PEX	0,38
POLIPROPILENO		PP	0,24
POLIETILENO		PE	0,32
POLIBUTILENO		PB	0,23

Evidentemente las conductividades de los aislamientos son muy inferiores a las de los metales, pero en todo caso superiores al valor de referencia del RITE para los aislamientos (0,04 W/mK).

<sup>185</sup>Entre los inconvenientes que presenta el uso de estos materiales cabe citar mayores dilataciones y menores diámetros interiores, por requerir mayores espesores que los metales asimismo soportan menores presiones y temperaturas.

## 16.1. Valores legislados desde 1975 a 1980

Se reproduce lo legislado en el año 1975 por el DECRETO 1490/1975 en la tabla del artículo sexto en la que se determina el espesor mínimo en mm para la conductividad de referencia del aislamiento de  $\lambda_{asl,rfr} = 0,04 \text{ W/(mK)}$ .

**Tabla 16.2:** Espesor aislamiento térmico tuberías de referencia  $e_{asl,rfr}$  (mm) desde 1975-1980.

Diámetro						Temperatura máxima agua							
Exterior						40 a 65 °C		66 a 100 °C		101 a 150 °C		>150 °C	
Tubería sin aislar						Int	Ext	Int	Ext	Int	Ext	Int	Ext
Acero			Cobre										
	$d_{int} <$	32		$d_{int} <$	36	20	30	20	30	30	40	40	50
32	$< d_{int} \leq$	50	36	$< d_{int} \leq$	50	20	30	30	40	40	50	40	50
50	$< d_{int} \leq$	80	50	$< d_{int} \leq$	80	30	40	30	40	40	50	50	60
80	$< d_{int} \leq$	125	80	$< d_{int} \leq$	125	30	40	40	50	50	60	50	60
125	$< d_{int}$		125	$< d_{int}$		30	40	40	50	50	60	60	70
<b>DECRETO 1490/1975 <math>\lambda_{asl,rfr} = 0,04 \text{ W/mK}</math> <math>h_{cr} = 8 \text{ W/mK}</math></b>													

En el caso de generadores de calor, depósitos acumuladores e intercambiadores de calor, cuando la superficie de pérdidas sea superior a  $2 \text{ m}^2$  el espesor será como mínimo de 50 mm.

En el caso de depósitos acumuladores e intercambiadores de calor con superficies de pérdidas inferiores a  $2 \text{ m}^2$ , el espesor mínimo de 30 mm.

## 16.2. Valores legislados desde 1980 a 1998

Se reproduce lo legislado en el año 1980 por el RICACCS en la tabla 16.2 en la que se determina el espesor mínimo en mm para la conductividad de referencia del aislamiento de  $\lambda_{asl,rfr} = 0,04 \text{ W/(mK)}$ .

**Tabla 16.3:** Espesor aislamiento térmico tuberías de referencia  $e_{asl,rfr}$  (mm) desde 1980-1998.

Diámetro			Temperatura máxima agua			
Exterior			40 a 65 °C		66 a 100 °C	
Tubería sin aislar			Interior	Exterior	Interior	Exterior
	$d_{int} \leq$	<b>32</b>	20	30	20	30
<b>32</b>	$< d_{int} \leq$	<b>50</b>	20	30	30	40
<b>50</b>	$< d_{int} \leq$	<b>80</b>	30	40	30	40
<b>80</b>	$< d_{int} \leq$	<b>125</b>	30	40	40	50
<b>125</b>	$< d_{int}$		30	40	40	50
$\lambda_{asl,rfr} =$	<b>0,04</b>	<b>W/mK</b>	$h_{cr} =$		<b>8</b>	<b>W/mK</b>
<b>RICACCS 1980 RD 1618</b>						

Cuando se utilicen materiales de conductividad térmica distinta al utilizado para determinar estas tablas,  $\lambda_{asl,rfr} = 0,04 \text{ W/(m·K)}$  a  $10^\circ\text{C}$ , se considera válida la determinación del espesor mínimo aplicando las siguientes ecuaciones para cualquier conductividad  $\lambda_{asl}$  (ver imagen 5.17):

- Para superficies planas: 
$$e_{asl} = e_{asl,rfr} \cdot \frac{\lambda_{asl}}{\lambda_{asl,rfr}} \quad 16-1$$

- Para superficies de sección circular: 
$$e_{asl} = \frac{d_{int}}{2} \cdot \left[ e^{\left( \frac{\lambda_{asl}}{\lambda_{asl,rfr}} \cdot \ln \frac{d_{int} + 2 \cdot e_{asl,rfr}}{d_{int}} \right)} - 1 \right] \quad 16-2$$

En el caso de generadores de calor, depósitos acumuladores e intercambiadores de calor, cuando la superficie de pérdidas sea superior a  $2 \text{ m}^2$  el espesor será como mínimo de 50 mm.

En el caso de depósitos acumuladores e intercambiadores de calor con superficies de pérdidas inferiores a 2 m<sup>2</sup>, el espesor mínimo de 30 mm.

En generadores de calor con potencia inferior a 50 kW instalados en locales calefactados no se exige asilamiento térmico.

### 16.3. Valores legislados desde 1998 a 2007

Se reproduce lo legislado en el año 1998 por el RITE en la tabla 16.3 en la que se determina el espesor mínimo en mm para la conductividad de referencia del aislamiento de  $\lambda_{\text{asl, rfr}} = 0,04$  W/(mK).

**Tabla 16.4:** Espesor aislamiento térmico tuberías  $e_{\text{asl, rfr}}$  (mm) desde 1998-2007.

Diámetro			Temperatura máxima agua			
			40 a 65 °C		66 a 100 °C	
Exterior			Interior	Exterior	Interior	Exterior
Tubería sin aislar			Interior	Exterior	Interior	Exterior
	$d_{\text{int}} \leq$	<b>35</b>	20	30	20	30
<b>35</b>	$< d_{\text{int}} \leq$	<b>60</b>	20	30	30	40
<b>60</b>	$< d_{\text{int}} \leq$	<b>90</b>	30	40	30	40
<b>90</b>	$< d_{\text{int}} \leq$	<b>140</b>	30	40	40	50
<b>140</b>	$< d_{\text{int}}$		30	40	40	50
$\lambda_{\text{rfr}} =$	<b>0,04</b>	<b>W/mK</b>	$h_{\text{cr}} =$		<b>8</b>	<b>W/mK</b>
<b>RITE 1998 RD 1751</b>						

Los demás puntos indicados en el apartado anterior son también válidos aquí.

Como se puede ver en las tablas 16.2 y 16.3 los niveles mínimos de aislamiento no han sido modificados. Si se ha cambiado los valores limítrofes de los diámetros de las tuberías.

Cuando la temperatura del fluido sea menor a la del ambiente se deberá evitar la formación de condensaciones superficiales e intersticiales.

Para redes de tuberías enterradas podrá justificarse una solución diferente a la legislada anteriormente.

### 16.4. Valores legislados desde 2007

Se reproduce lo legislado en el año 2007 por el RITE en la tabla 16.4 en la que se determina el espesor mínimo en mm para la conductividad de referencia del aislamiento de  $\lambda_{\text{asl, rfr}} = 0,04$  W/(mK).

**Tabla 16.5:** Espesor aislamiento térmico tuberías  $e_{\text{asl, rfr}}$  (mm) desde 2007.

Diámetro Exterior			Temperatura máxima agua			
			40 a 60 °C		60 a 100 °C	
Tubería sin aislar			Interior	Exterior	Interior	Exterior
	$d_{\text{int}} \leq$	<b>35</b>	25	35	25	35
<b>35</b>	$< d_{\text{int}} \leq$	<b>60</b>	30	40	30	40
<b>60</b>	$< d_{\text{int}} \leq$	<b>90</b>	30	40	30	40
<b>90</b>	$< d_{\text{int}} \leq$	<b>140</b>	30	40	40	50
<b>140</b>	$< d_{\text{int}}$		35	45	40	50
$\lambda_{\text{rfr}} =$	<b>0,04</b>	<b>W/m·K</b>	$h_{\text{cr}} =$		<b>8</b>	<b>W/mK</b>
<b>RITE 2007 RD 1027</b>						

Como se puede comprobar con respecto a la tabla anterior se ha subido el valor mínimo de aislamiento ligeramente para los primeros valores de diámetro interior y se ha cambiado los valores limítrofes de temperatura interior del fluido.

Si el aislamiento es diferente al de referencia se utilizan las mismas fórmulas descritas anteriormente.

En este último reglamento se especifican más situaciones que en los anteriores. Así se determina que los espesores mínimos de aislamiento de equipos, aparatos y depósitos deben ser iguales o mayores que los indicados en las tablas anteriores para las tuberías de diámetro exterior mayor que 140 mm.

Los espesores mínimos de aislamiento de las redes de tuberías que tengan un funcionamiento todo el año, como redes de agua caliente sanitaria, deben ser los indicados en las tablas anteriores aumentados en 5 mm.

**Tabla 16.6:** Espesor aislamiento térmico tuberías  $e_{asl, rfr}$  (mm) desde 2007 funcionamiento continuo.

Diámetro Exterior			Temperatura máxima agua			
			40 a 60 °C		60 a 100 °C	
Tubería sin aislar			Interior	Exterior	Interior	Exterior
	$d_{int} \leq$	<b>35</b>	30	40	30	40
<b>35</b>	$< d_{int} \leq$	<b>60</b>	35	45	35	45
<b>60</b>	$< d_{int} \leq$	<b>90</b>	35	45	35	45
<b>90</b>	$< d_{int} \leq$	<b>140</b>	35	45	45	55
<b>140</b>	$< d_{int}$		40	50	45	55
$\lambda_{rfr} =$	<b>0,04</b>	<b>W/m·K</b>	$h_{cr} =$		<b>8</b>	<b>W/mK</b>
<b>RITE 2007 RD 1027</b>						

Los espesores mínimos de aislamiento de las redes de tuberías que conduzcan, alternativamente, fluidos calientes y fríos serán los obtenidos para las condiciones de trabajo más exigentes. Los espesores mínimos de aislamiento de las redes de tuberías de retorno de agua serán los mismos que los de las redes de tuberías de impulsión.

Los espesores mínimos de aislamiento de los accesorios de la red, como válvulas, filtros, etc., serán los mismos que los de la tubería en que estén instalados.

El espesor mínimo de aislamiento de las tuberías de diámetro exterior menor o igual que 20 mm y de longitud menor que 5 m, contada a partir de la conexión a la red general de tuberías hasta la unidad terminal, y que estén empotradas en tabiques y suelos o instaladas en canaletas interiores, será de 10 mm, evitando, en cualquier caso, la formación de condensaciones.

Actualmente existe un programa de cálculo Documento Reconocido del RITE que permite calcular los valores mínimos de aislante de forma rápida y precisa, programa AISLAM.

## 16.5. Adaptación a las normas CEN

Está claro, según lo mostrado en el capítulo 5, referente a las pérdidas térmicas en el subsistema de distribución, que la forma de delimitar la pérdida energética en la distribución del agua caliente como fluido caloportador no es igual.

Las normas CEN tabulan (si no se puede calcular su valor según las fórmulas 5-51 a 5-53) un valor de transmitancia térmica lineal en función de la localización de la tubería y del año en el que fue ejecutada. En el RITE solo se exige aislar las tuberías que discurren por locales no calefactados o por el exterior.

Como se mostró en los apartados anteriores, en España se legisla un valor de espesor mínimo en mm. Este, a través de la fórmula 5-51 (se supone  $h_{cr} = 8 \text{ W/m}^2\text{K}$  y conductividad del aislamiento de referencia de  $\lambda_{asl, rfr} = 0,04 \text{ W/mK}$ ) puede adaptarse a la expresión de transmitancia térmica propuesta en el cálculo de las normas CEN.

Se reproducen a continuación estos valores de transmitancia térmica lineal para cada uno de los tres reglamentos descritos (observar que los valores legislados por el RICACS y el DECRETO 1490/1975 son iguales).

**Tabla 16.7:** Transmitancia térmica lineal en tuberías  $\psi$  (W/mK) año 1975 a 1998

Diámetro Exterior (mm)			Temperatura máxima agua							
			40 a 65 °C				66 a 100 °C			
Tubería sin aislar			Interior		Exterior		Interior		Exterior	
			min	max	min	max	min	max	min	max
	$d_{int} \leq$	<b>32</b>		0,31		0,24		0,31		0,24
<b>32</b>	$< d_{int} \leq$	<b>50</b>	0,31	0,43	0,24	0,32	0,24	0,32	0,20	0,26
<b>50</b>	$< d_{int} \leq$	<b>80</b>	0,32	0,45	0,26	0,36	0,32	0,45	0,32	0,45
<b>80</b>	$< d_{int} \leq$	<b>125</b>	0,45	0,64	0,36	0,51	0,36	0,51	0,36	0,51
<b>125</b>	$< d_{int}$		0,64		0,51		0,51		0,51	

**Tabla 16.8:** Transmitancia térmica lineal en tuberías  $\psi$  (W/mK) año 1998 a 2007

Diámetro Exterior			Temperatura máxima agua							
			40 a 65 °C				66 a 100 °C			
Tubería sin aislar (mm)			Interior		Exterior		Interior		Exterior	
			min	max	min	max	min	max	min	max
	$d_{int} \leq$	<b>35</b>		0,33		0,25		0,33		0,25
<b>35</b>	$< d_{int} \leq$	<b>60</b>	0,33	0,49	0,25	0,36	0,25	0,36	0,21	0,30
<b>60</b>	$< d_{int} \leq$	<b>90</b>	0,36	0,49	0,30	0,40	0,36	0,49	0,36	0,49
<b>90</b>	$< d_{int} \leq$	<b>140</b>	0,49	0,70	0,40	0,56	0,40	0,56	0,40	0,56
<b>140</b>	$< d_{int}$		0,70		0,56		0,56		0,56	

**Tabla 16.9:** Transmitancia térmica lineal en tuberías  $\psi$  (W/mK) desde 2007

Diámetro Exterior			Temperatura máxima agua							
			40 a 60 °C				60 a 100 °C			
Tubería sin aislar (mm)			Interior		Exterior		Interior		Exterior	
			min	max	min	max	min	max	min	max
	$d_{int} \leq$	<b>35</b>		0,28		0,23		0,28		0,23
<b>35</b>	$< d_{int} \leq$	<b>60</b>	0,25	0,36	0,21	0,30	0,25	0,36	0,21	0,30
<b>60</b>	$< d_{int} \leq$	<b>90</b>	0,36	0,49	0,30	0,40	0,36	0,49	0,36	0,49
<b>90</b>	$< d_{int} \leq$	<b>140</b>	0,49	0,70	0,40	0,56	0,40	0,56	0,40	0,56
<b>140</b>	$< d_{int}$		0,62		0,51		0,56		0,56	

**Tabla 16.10:** Transmitancia térmica en tuberías  $\psi$  (W/mK) desde 2007. Funcionamiento continuó

Diámetro Exterior			Temperatura máxima agua							
			40 a 60 °C				60 a 100 °C			
Tubería sin aislar (mm)			Interior		Exterior		Interior		Exterior	
			min	max	min	max	min	max	min	max
	$d_{int} \leq$	<b>35</b>		0,25		0,21		0,25		0,21
<b>35</b>	$< d_{int} \leq$	<b>60</b>	0,23	0,33	0,20	0,27	0,23	0,33	0,20	0,27
<b>60</b>	$< d_{int} \leq$	<b>90</b>	0,33	0,44	0,27	0,36	0,33	0,44	0,33	0,44
<b>90</b>	$< d_{int} \leq$	<b>140</b>	0,44	0,62	0,36	0,51	0,36	0,51	0,36	0,51
<b>140</b>	$< d_{int}$		0,62		0,47		0,51		0,51	

Por tanto y aunque estos valores son muy similares a los indicados en la tabla 5.32 sería más preciso en España utilizar los valores indicados en esta anexo (para lo que sería necesario conocer el diámetro de la tubería) y no los valores propuestos por la norma CEN.

Qué duda cabe, que si se tiene datos, lo mejor es calcular el valor de transmitancia térmica según la ecuación 5-51 a 5-53 según se expuso en el capítulo 5.

## 16.6. Aislamiento de tuberías en el interior de los edificios

Como se ha indicado anteriormente, el RITE impone la necesidad de aislamiento térmico para las tuberías con fluidos a temperaturas superiores a 40°C cuando discurren por locales no calefactados, cuando las tuberías discurren por locales calefactados, las pérdidas de calor contribuyen en gran medida, a la calefacción del local, por este motivo su aislamiento térmico no es obligatorio.



Al margen de su obligatoriedad el aislamiento térmico es conveniente por las siguientes razones:

- Consigue que la distribución de calor se proporcione en los elementos emisores, aportando unas condiciones de control más precisas, evita el incremento de temperatura de los locales cuando los elementos de regulación (como por ejemplo las válvulas termostáticas) han cerrado.
- En las distribuciones bajo el suelo el aislamiento térmico evita problemas con las tarimas y los elementos de terminación de los suelos; esta situación es muy importante en las distribuciones con colectores que requieren gran cantidad de tuberías.
- Evita las pérdidas de calor hacia otras viviendas.

En estas situaciones el espesor del aislamiento puede ser inferior al mínimo establecido en la tabla anterior.

Cuando las distribuciones de calefacción sean vistas, situación habitual en las viviendas existentes en las que las distribuciones suelen llevarse por encima de los rodapiés, el aislamiento térmico cumple el requisito de evitar el contacto con superficies calientes que puedan causar accidentes; en el apartado IT 1.3.4.4.1 indica: “*Ninguna superficie con la que exista posibilidad de contacto accidental, salvo las superficies de los emisores de calor, podrá tener una temperatura mayor que 60°C*”.

Este requisito puede cumplirse con dos soluciones:

- Colocar aislamiento térmico, puede ser de 10 mm, ya que su objetivo es evitar temperaturas superficiales altas. Este aislamiento puede incorporarse a soluciones con canaletas.
- Diseñar toda la instalación para trabajar con temperaturas de impulsión de 60°C, lo que obliga a instalar radiadores mas grandes (prácticamente se debe duplicar su tamaño), esta solución es la más adecuada para calderas de condensación.

## 16.7. Coeficiente de convección

Se muestran en este apartado los coeficientes de convección propuestos en la guía de aislamientos Documento Reconocido del RITE.

En el caso del coeficiente de convección interior se puede despreciar en el cálculo de la pérdida energética pues es de valor muy alto. Aun así los valores propuestos son:

$$h_{conv} = \frac{1057(1,352 + 0,019T_{int})v^{0,8}}{D^{0,2}} \quad 16-3$$

donde,

- D Diámetro interior de la tubería (m)
- v Velocidad del agua (m/s)
- T<sub>int</sub> Temperatura interior (°C)

En el caso de los coeficientes de convección exteriores hay que diferenciar si la tubería discurre por el interior del edificio o por el exterior.

### 16.7.1. Interior de edificios

Hay que diferenciar en este caso si la tubería es horizontal o vertical y el régimen del fluido (aire interior) que la rodea.

El régimen de circulación viene dado en función del parámetro  $D^3\Delta T$ , donde  $D$  es el diámetro exterior de la tubería (m) y  $\Delta T$  es el valor absoluto de la diferencia de temperaturas entre la pared y el aire ( $^{\circ}\text{C}$ ). Por tanto

-Si  $D^3\Delta T \leq 10 \text{ m}^3\text{C}$  régimen laminar y tuberías verticales

$$h_{conv} = 1,32^4 \sqrt{\frac{\Delta T}{D}} \quad 16-4$$

-Si  $D^3\Delta T > 10 \text{ m}^3\text{C}$  régimen turbulento tuberías verticales

$$h_{conv} = 1,74^3 \sqrt{\Delta T} \quad 16-5$$

-Si  $D^3\Delta T \leq 10 \text{ m}^3\text{C}$  régimen laminar y tuberías horizontales

$$h_{conv} = 1,25^4 \sqrt{\frac{\Delta T}{D}} \quad 16-6$$

-Si  $D^3\Delta T > 10 \text{ m}^3\text{C}$  régimen turbulento tuberías horizontales

$$h_{conv} = 1,21^3 \sqrt{\Delta T} \quad 16-7$$

En todos los casos el coeficiente de radiación toma el valor de

$$h_{rad} = \varepsilon \sigma (TK_{sup} + TK_{aire})(TK_{sup}^2 + TK_{aire}^2) \quad 16-8$$

### 16.7.2. Exterior de edificios

En este caso no hay que diferenciar si la tubería es horizontal o vertical solamente se diferencia si el régimen del fluido (aire exterior) que la rodea.

El régimen de circulación viene dado en función del parámetro  $vD$ , donde  $D$  es el diámetro exterior de la tubería (m) y  $v$  es la velocidad del aire (m/s). Por tanto

- $vD \leq 0,00855 \text{ m}^2/\text{s}$  régimen laminar

$$h_{conv} = \frac{0,0081}{D} + 3,14 \sqrt{\frac{v}{D}} \quad 16-9$$

-Si  $D^3\Delta T > 10 \text{ m}^3\text{C}$  régimen turbulento tuberías verticales

$$h_{conv} = 8,9 \frac{v^{0,9}}{D^{0,1}} \quad 16-10$$

En todos los casos el coeficiente de radiación toma el valor de

$$h_{rad} = \varepsilon \sigma (TK_{sup} + TK_{aire})(TK_{sup}^2 + TK_{aire}^2) \quad 16-11$$

Un valor habitual es considerar el coeficiente de convección y radiación conjunto de  $h_{conv} + h_{rad} = h_{cr} = 8 \text{ W/m}^2\text{K}$  para tuberías aisladas y  $h_{cr} = 14 \text{ W/m}^2\text{K}$  para tuberías no aisladas.

## 17. Anexo V. Exigencias legislativas de combustibles

**Tabla 17.1:** Valores del propano según el RD 61/2006

Especificaciones del propano comercial RD 61/2006		Límites <sup>186</sup>		Normas	
Características	Unidades de medida	Mínimo	Máximo	ASTM D	UNE EN
Densidad a 15 °C (líquido)	kg/l	0,502	0,535	ASTM D-1657	
Humedad.	—	Exento (1)		ASTM D-2713	
Contenido máximo de azufre.	mg/kg	—	50	ASTM D-2784	
Corrosión.	Escala	—	1 b.	ASTM D-1838	
Presión de vapor man., a 37,8 °C.	kg/cm <sup>2</sup>	10	16	ASTM D-1267	
Residuo volátil (temperatura evaporación del 95% en volumen)	°C	—	— 31(2)	ASTM D-1837	
Sulfuro de hidrógeno.		Negativo		ASTM D-2420	
Poder calorífico inferior.	kcal/kg	10.800		ASTM D-3588	
Poder calorífico superior.	kcal/kg	11.900		ASTM D-3588	
Composición:					
Hidrocarburos C2.	% Volumen	—	2,5	ASTM D-2163 (3)	UNE EN 27941
Hidrocarburos C3.	% Volumen	80		ASTM D-2163 (3)	UNE EN 27941
Hidrocarburos C4.	% Volumen	—	20	ASTM D-2163 (3)	UNE EN 27941
Hidrocarburos C5.	% Volumen	—	1,5	ASTM D-2163 (3)	UNE EN 27941
Olefinas totales.	% Volumen	—	35	ASTM D-2163 (3)	UNE EN 27941
Diolefinas + Acetilenos.	p.p.m.	< 1.000		ASTM D-2163 (3)	UNE EN 27941
Olor.		Característico			

### NOTAS

(1) Se considerará «exento» cuando en las condiciones descritas en la norma ASTM D-2713 no se obstruya la válvula por efecto del hielo antes de los primeros 60 segundos de ensayo.

(2) Siempre que el resultado del ensayo de humedad sea exento.

<sup>186</sup> Para la verificación de los límites de las especificaciones establecidas, las tomas de muestras se efectuarán directamente de la fase líquida de las cisternas destinadas al llenado de los depósitos de los usuarios y de las botellas o envases, en cuyo caso será en las condiciones iniciales de llenado (es decir, se realizará en el momento de salida de la factoría, preferentemente, o en los centros de almacenamiento y, en cualquier caso, antes de haberse iniciado su consumo por el usuario).

**Tabla 17.2:** Valores del butano según el RD 61/2006

Especificaciones del butano comercial RD 61/2006		Límites <sup>187</sup>		Normas	
Características	Unidades de medida	Mínimo	Máximo	ASTMD	UNE EN
Densidad a 15 °C (líquido).	kg/l	0,560	—	ASTM D-1657	
Humedad.		—	—	ASTM D-2713	
Agua separada.		Ausencia		-	
Contenido máximo de azufre.	mg/kg	—	50	ASTM D-2784	
Azufre corrosivo.		—	1 b.	ASTM D-1838	
Presión de vapor max. a 50 °C.	kg/cm <sup>2</sup>	—	7,5	ASTM D-2598	
Doctor Test.		Negativo		ASTM D-4952	
Sulfuro de hidrógeno.		Negativo		ASTM D-2420	
Poder calorífico inferior.	kcal/kg	10.700	—	ASTM D-3588	
Poder calorífico superior.	kcal/kg	11.800	—	ASTM D-3588	
Composición:					
Hidrocarburos C2.	% Volumen	—	2,0	ASTM D-2163 (1)	UNE EN 27941
Hidrocarburos C3.	% Volumen	—	20	ASTM D-2163 (1)	UNE EN 27941
Hidrocarburos C4.	% Volumen	80	—	ASTM D-2163 (1)	UNE EN 27941
Hidrocarburos C5.	% Volumen	—	1,5	ASTM D-2163 (1)	UNE EN 27941
Olefinas totales	% Volumen	—	20	ASTM D-2163 (1)	UNE EN 27941
Diolefinas + Acetileno.	p.p.m.	< 1.000		ASTM D-2163 (1)	UNE EN 27941
Olor.		Característico			

## NOTAS

(1) Se considerará «exento» cuando en las condiciones descritas en la norma ASTM D-2713 no se obstruya la válvula por efecto del hielo antes de los primeros 60 segundos de ensayo.

(2) Siempre que el resultado del ensayo de humedad sea exento.

<sup>187</sup> Para la verificación de los límites de las especificaciones establecidas, las tomas de muestras se efectuarán directamente de la fase líquida de las cisternas destinadas al llenado de los depósitos de los usuarios y de las botellas o envases, en cuyo caso será en las condiciones iniciales de llenado (es decir, se realizará en el momento de salida de la factoría, preferentemente, o en los centros de almacenamiento y, en cualquier caso, antes de haberse iniciado su consumo por el usuario).

**Tabla 17.3:** Valores del gasóleo C según el RD 61/2006

Especificaciones del gasoil-C comercial RD 61/2006			Métodos de ensayo	
Características	Unidades de medida	Gasóleo calefacción clase C	Normas UNE	Normas ASTM
Densidad a 15°C (máx/mín).	kg/m <sup>3</sup>	900/--	EN ISO 3675	D-4052
Color.		Azul		D-1500
Azufre, máx. <sup>188</sup>	% m/m	0,20 (1)	EN 874	
			EN 24260	
Destilación.			EN ISO 3405	D-86
65% recogido, mín.	°C	250		
80% recogido, máx.	°C	390		
85% recogido, máx.	°C			
95% recogido, mín.	°C	Anotar		
Viscosidad cinemática a 40 °C mín/máx.	mm <sup>2</sup> /s	--/7,0	EN ISO 3104	D-445
Punto de inflamación, mín.	°C	60	EN 22179	D-93
Punto de obstrucción filtro frío.			EN 116	
Invierno (1 octubre-31 marzo), máx.	°C	—6		
Verano (1 abril-30 septiembre), máx.	°C	—6		
Punto de enturbiamiento.			EN 23015	D-2500
Invierno (1 octubre-31 marzo), máx.	°C	4		D-5772
Verano (1 abril-30 septiembre), máx.	°C	4		
Residuo carbonoso (sobre 10% V/V final destilación), máx.	% m/m	0,35	EN ISO 10370	D-4530
Agua y sedimentos, máx.	% V/V	0,1	UNE 51083	D-2709
Corrosión lámina de cobre (3 horas a 50 °C), máx.	Escala	Clase 2	EN ISO 2160	D-130
Aditivos y agentes trazadores.	Regulados por la Orden PRE/1724/2002, de 5 de julio.			

<sup>188</sup> El método de referencia adoptado para determinar el contenido de azufre en el gasóleo clase C será el definido en las normas UNE EN 24260 (1996), UNE EN ISO 8754 (1996) y UNE EN ISO 14596 (1999). El método de arbitraje será el UNE EN ISO 14596 (1999). La interpretación estadística de la comprobación del contenido de azufre de los gasóleos utilizados se efectuará conforme a la norma UNE EN ISO 4259 (1997).

## 18. Anexo VI. Rendimiento estacional de generación

Se describen en este apartado los métodos o valores por defecto de algunos países (incluidos España) utilizan para estimar el rendimiento medio estacional del subsistema de generación.

### 18.1. Reino unido

Este método de cálculo se aplica sólo 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, GLP<sup>189</sup> (butano o propano) o combustible líquido (queroseno o gasoil).
- Se obtienen los datos de ensayo, a plena carga  $\eta_{Pn}$  y al 30% de carga parcial  $\eta_{Pint}$ . 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 del valor máximo dado en la tabla 18.1 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  $\eta_{gnr,Pint} = \eta_{gnr,Pint,max}$ ).

**Tabla 18.1:** Valores máximos de eficiencia neta (poder calorífico inferior)

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

- 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.

$$\eta_{gnr,Pn,corr} = \eta_{gnr,Pn} \cdot f_{corr} \qquad \eta_{gnr,Pint,corr} = \eta_{gnr,Pint} \cdot f_{corr} \qquad 18-1 \text{ y } 18-2$$

**Tabla 18.2:** Factores de conversión de eficiencia

Combustible	Factor de conversión de neto a bruto $f_{corr}$	DTIE 10.05 [5.28]
Gas natural	0,901	
GLP (propano o butano)	0,921	
Combustible líquido (queroseno o gasoil)	0,937	

- 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  $f_{plt} = 1$
    - Si no, se establece  $f_{plt} = 0$ .
  - 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  $f_{acm} = 1$ .

<sup>189</sup> Gases licuados del petróleo.

- 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:
  - o Si  $d_{int,acm} < 10$  mm entonces  $H_{prd} = 0,0945 - 0,0055d_{int,acm}$
  - o 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.
- Se sustituye la eficiencia corregida a plena carga  $\eta_{gnr,Pn,corr}$  y la eficiencia corregida a carga parcial<sup>190</sup>  $\eta_{gnr,Pint,corr}$  y  $f_{plt}$ ,  $f_{acm}$ ,  $V_{acm}$  y  $H_{prd}$  en la ecuación hallada en el paso anterior para obtener  $\eta_{est,corr}$ .
- Se convierte la eficiencia estacional corregida (poder calorífico superior) a la eficiencia estacional neta utilizando ( poder calorífico inferior):

$$\eta_{est} = \eta_{est,corr} \cdot \frac{1}{f_{corr}} \tag{18-3}$$

**Tabla 18.3:** Número de ecuación para diferentes tipos de caldera

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

<sup>190</sup>El método propone redondear el resultado a una cifra decimal, es decir, se aproxima al 0,1% más próximo.



**Tabla 18.4:** Ecuaciones de cálculo para obtener  $\eta_{est,corr}$  calderas de gas natural y GLP

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 combina- da todo/nada (sólo 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 combina- da modulante (sólo 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 combina- da todo/nada (sólo sin condensación) Unidad de almacenamiento primaria combina- da modulante (sólo 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 18.5:** Ecuaciones de cálculo para obtener  $\eta_{est,corr}$  calderas de combustible líquido

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	$\eta_{est,corr} = (\eta_{gnr,Pn,corr} + \eta_{gnr,Pint,corr}/2) - 2,8 + 0,209f_{acm} H_{prd} V_{acm}$

- 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:

$$Q_{CLF,gen,prd} = Q_{CLF,gen,sld} \cdot \frac{1 - \eta_{est}}{\eta_{est}} \quad 18-4$$

- Se calcula el requisito de calor del combustible.

$$E_{CLF,gen,ent} = \frac{Q_{CLF,gen,sld}}{\eta_{est}} \quad 18-5$$

La energía auxiliar y la pérdida térmica total (y recuperable) se calculan con el método descrito en el punto 5.3.2.

## 18.2. Proyecto BOILEFF

El proyecto europeo BOILEFF estudia, mediante la realización de pruebas en instalaciones reales, las posibilidades de aumentar el rendimiento energético de las calderas a partir de una mejora en la calidad de las instalaciones. El proyecto se inició en febrero de 2007 y funcionó hasta septiembre de 2009.

Los países participantes en el proyecto BOILEFF fueron:

- Alemania. Wuppertal Institute for Climate, Environment and Energy.
- Austria. Austrian Energy Agency (AEA).
- España. Grupo de Ingeniería Térmica Aplicada de la URV (CREVER).
- Grecia. Regulatory Authority for Energy of the Hellenic Republic (RAE).
- Hungría. Innoterm.

El objetivo del proyecto BOILEFF es mejorar la calidad de las instalaciones de calefacción para conseguir un incremento en la eficiencia energética de las mismas. En este proyecto se llevo a cabo la monitorización de instalaciones reales.

Se han diseñado dos estrategias principales con el fin de lograr el objetivo del proyecto BOILEFF:

- Línea de CALIDAD. Consiste en establecer una serie de criterios estándares de calidad cumplir y, si así es, se podrá certificar la caldera como Instalación de alta calidad. Esta certificación de calidad podrá ser ofrecida a los clientes por parte de las mismas empresas instaladoras, incluyéndola en el contrato de compra.

La existencia de esta certificación debería facilitar la tarea a los clientes en el momento de comparar ofertas, y motivarles a elegir la mejor oferta en vez de la oferta más barata. En el marco del proyecto, se elaborarán una serie de especificaciones de calidad, como por ejemplo:

- Selección del tipo de caldera
  - Determinación del rendimiento de la caldera
  - Espesor del aislamiento de los conductos
  - Tipo de bomba de circulación y su tamaño
  - Determinación de la potencia de la caldera
  - Consejos para el servicio y el mantenimiento
- Línea de GARANTÍA. En esta estrategia, la empresa instaladora ofrecerá al cliente una garantía de prestaciones (eficiencia energética anual) de la caldera. Es cierto que, en la mayoría de los casos, no es posible garantizar un consumo anual de energía, pero en cambio sí es posible garantizar un rendimiento de la instalación. Para poder ofrecer esta garantía, la empresa instaladora tendrá que ser más cuidadosa en el mantenimiento del sistema de calefacción, pero incluso puede obtener más beneficio con este servicio.

Las dos estrategias citadas (Calidad y Garantía) se implantaron en instalaciones de calefacción de España. Estas pruebas se realizaron en condiciones reales y para diferentes tipos de combustibles. En concreto se llevaron a cabo 75 auditorías en las diferentes de instalaciones de calderas en los países participantes Alemania, Austria, Hungría, España y Grecia

En dicho estudio aparece esta ecuación empírica (referida al poder calorífico superior) para el cálculo del rendimiento medio estacional.

$$\eta_{CLF} = 0,89 \cdot (1 - 0,03 \cdot O) \cdot (1 + 0,04 \cdot I) \cdot (1 - 0,03 \cdot V) \cdot (1 - 0,015 \cdot W) \quad 18-6$$

donde

- Caldera de condensación de gasóleo O = 1 Caldera de condensación a gas O = 0
- Caldera colocada en el interior I = 1 Caldera colocada en el exterior I = 0
- Caldera con válvula de baipás V = 1 Caldera sin válvula de baipás V = 0
- Radiadores W = 1 Suelo radiante W = -1 Radiadores y suelo radiante W = 0

Esta representa el rendimiento estacional esperado de una instalación que cumpla con las declaraciones de instalación y rendimiento. Es por tanto un límite superior.

Aunque esta metodología no está relacionada con las normas CEN se describe en este documento como información adicional

### 18.3. España

Las prestaciones medias estacionales de un equipo o sistema se calcularán multiplicando sus prestaciones nominales por un factor denominado factor de ponderación representativo.

Para obtener el factor de ponderación representativo correspondiente a cada equipo o sistema se han seguido las siguientes etapas genéricas para todos los casos:

- **DEFINICIÓN DEL SISTEMA O EQUIPO EN CALENER VyP:** Se definen los equipos o sistemas cuyo factor de ponderación se desea obtener sobre una muestra de edificios cuya tipología es representativa del parque de edificios español y con unas características constructivas que responden a la aplicación estricta de las exigencias del documento básico CTE DB HE1 para cada zona climática.

La representatividad de la muestra de edificios se ha basado en aquellos parámetros que determinan el diseño de los sistemas tales como la superficie útil y el tamaño de los espacios.

- **SELECCIÓN DE LOCALIDADES:** El comportamiento del edificio y del sistema se evaluará realizando las simulaciones de CALENER VyP en localidades representativas de todas las zonas climáticas de España.
- **DIMENSIONADO DEL EQUIPO O SISTEMA:** La potencia de los equipos o sistemas se calculará de acuerdo con los siguientes criterios:
  - Calderas de combustión (centralizadas por vivienda): 25 kW
  - Calderas de combustión (centralizadas por bloque): Sobredimensionado del 0% y del 42% a partir de los valores de carga punta que presenten los valores horarios de demanda obtenidos mediante LIDER.

De los resultados del programa CALENER VyP se obtienen las demandas y los consumos en energía final de calefacción, refrigeración y ACS (según corresponda).

Las prestaciones medias estacionales se calcularán como el cociente entre las demandas y los consumos en energía final obtenidos.

El factor de ponderación se define finalmente como el cociente entre la prestación media estacional y la prestación en condiciones nominales.

Se hace notar en este punto que el factor de ponderación es independiente de la calidad del equipo en condiciones nominales, es decir, el factor de ponderación es el mismo si, por ejemplo, el rendimiento nominal de una caldera es 90 o 95.

Para seleccionar los valores que finalmente se habrán de utilizar se elegirá de la muestra el valor que se corresponde con el 15% de los casos más desfavorables. Como el factor de ponderación es tanto peor cuanto menor sea su valor, el percentil elegido hace que haya una probabilidad del 85% de que el factor de ponderación real sea mejor que el valor considerado.

Las tablas siguientes muestran los valores de los factores de ponderación obtenidos según el procedimiento descrito y que se utilizan directamente en el procedimiento simplificado de certificación energética para edificios de nueva construcción:

**Tabla 18.6:** Factores de ponderación para sistemas de calefacción y mixtos en calderas

Caldera calefacción combustión estándar	0,97
Caldera calefacción combustión baja temperatura	1,00
Caldera calefacción combustión de condensación	1,08
Caldera calefacción combustión de biomasa	0,74
Caldera calefacción combustión de biomasa UNE EN 303-5:1999	0,95
Caldera mixta combustión estándar	0,98
Caldera mixta combustión baja temperatura	1,00
Caldera mixta combustión de condensación	1,06
Caldera mixta combustión de biomasa	0,76
Caldera mixta combustión de biomasa UNE EN 303-5:1999	0,95

**Tabla 18.7:** Factores de ponderación para sistemas de ACS

Caldera ACS combustión estándar	0,93
Caldera ACS eléctrica	1,00
Caldera mixta combustión estándar	0,98
Caldera mixta combustión baja temperatura	1,00
Caldera mixta combustión de condensación	1,06
Caldera mixta combustión de biomasa	0,76
Caldera mixta combustión de biomasa UNE EN 303-5:1999	0,95

En el caso de viviendas construidas con anterioridad a la entrada en vigor del CTE se usarían los mismos valores con las siguientes excepciones:

- En el caso de equipos centralizados de calefacción, los factores de ponderación se multiplicarían por un factor de 1,075.
- En el caso de equipos centralizados de refrigeración en viviendas unifamiliares, los factores de ponderación se multiplicarían por un factor de 1,04.

Los dos programas simplificados para la certificación energética de edificios existentes Ce3 y CE<sup>3</sup>X (de publicación posterior al CALENER) también intentan estimar el rendimiento medio estacional del generador si el usuario no lo aporta.

En el caso del programa Ce3 se muestran en la tabla siguiente los valores que por defecto asigna el programa en función del año y tipo de caldera.

**Tabla 18.8:** % Nominal por defecto asignado por el programa Ce3

% Nominal/ Fuente programa Ce3		Hasta 1991	Hasta 2001	Hasta 2006	Posterior 2006	
GENERACION DE CALOR	Calderas	Estándar	87	87	87	90
		Baja temperatura	81	84	87	90
		Condensación	81	84	87	90
		Biomasa	70	75	80	85
		Eléctrica	99	99	99	99
	Mixtas	Estándar	70	84	87	90
		Baja temperatura	90	84	87	90
		Condensación	70	75	80	85
		Biomasa	84	87	90	0
		Eléctrica	99	99	99	99
ACS	Combustión estándar	81	84	87	90	
	Combustión eléctrica	100	100	100	100	

En el caso del programa CE<sup>3</sup>X se estima el rendimiento medio estacional del generador según el procedimiento descrito en el apartado N de la norma UNE EN 15378 Sistemas de calefacción en los edificios. Inspección de calderas y sistemas de calefacción.

En dicho apartado se requieren los siguientes parámetros para definir el rendimiento estacional ( $\eta_{gen}$ ) según la ecuación:

$$\eta_{gen} = \eta_{CLF,comb} - \left( \frac{1}{\beta_{CLF,comb}} - 1 \right) \cdot \alpha_{CLF,shm,OFF} (\%) - \frac{1}{\beta_{CLF,comb}} \cdot \alpha_{CLF,env} (\%) \quad 18-7$$

donde

- $\eta_{CLF,comb}$  Rendimiento de combustión. Puede ser obtenido realizando un análisis de combustión al sistema generador de calor. Ante la imposibilidad de la obtención de este parámetro se determinará un valor por defecto del 85% (aconsejado por el manual del programa).
- $\alpha_{CLF,env}$  Factor de pérdidas a través de la envolvente del sistema de generación de calor. Este factor depende de la potencia del sistema generador y de dos parámetros que se encuentran tabulados en la norma UNE EN (tabla 5.49)
- $\alpha_{CLF,shm,OFF}$  Factor de pérdidas por la chimenea con el quemador parado. Al igual que ocurre en el caso anterior, el factor de pérdidas por la chimenea con el quemador parado se encuentra tabulado en la norma (tabla 5.52).
- $\beta_{CLF,comb}$  Factor de carga media Este factor indica la carga media con la que el sistema generador ha operado en el período de tiempo considerado. Debe ser calculado según la ecuación 5-127.

Se analiza la fórmula 18-6 para ver qué factores tienen más peso de cara a mejorar el rendimiento medio estacional, para una caldera de 100 kW de potencia nominal ( $\Phi_{Pn}$ ) y cuyo estudio de los humos de combustión han dado  $\eta_{CLF,comb}=98\%$ , primero sin condensación, y en segundo caso con la posibilidad de recuperar el calor de condensación para una temperatura de humos de 75°C ( $\eta_{cond}=10,21\%$ ,  $\eta_{CLF,comb}(cond)=108,21\%$ ).

La primera apreciación, solo consultando la fórmula, es que el rendimiento medio estacional cae a medida que disminuye el factor de carga media real ( $\beta_{CLF,comb}$ ).

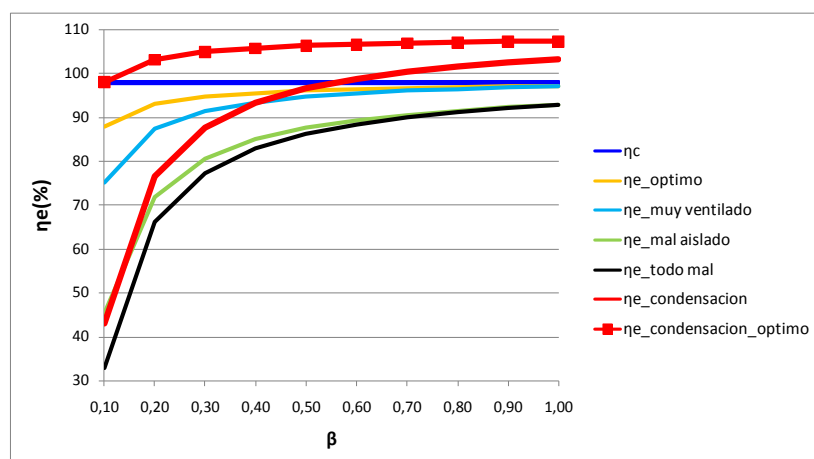


Imagen 18.1: Rendimiento medios estacional programa CE<sup>3</sup>X

Supongamos en las primeras hipótesis que se plantean que tenemos una caldera sin aprovechar el fenómeno de condensación.

En el caso de tener perfectamente aislada la caldera (caldera nueva de alto rendimiento) y las pérdidas por la chimenea sean mínimas (caldera que utiliza combustibles líquidos o gaseosos con ventilador antes de la cámara de combustión y cierre automático de la entrada de aire con el quemador apagado, o quemadores con premezclado) el rendimiento medio estacional de la caldera no se aleja mucho del rendimiento de combustión ( $\eta_c$ ), sobre todo a cargas medias próximas a la potencia nominal ( $\eta_e$  óptimo).

Si la caldera tuviera excesivas pérdidas de calor sensible por la chimenea (caldera atmosférica a gas), su rendimiento medio estacional cae con respecto al óptimo, pero no excesivamente ( $\eta_e$  muy ventilado).

En cambio si la caldera está mal aislada, el rendimiento medio estacional sí que se ve afectado, disminuyendo notablemente con respecto al óptimo ( $\eta_e$  mal aislado).

Estos dos efectos combinados, evidentemente originarían una situación mucho más desfavorable que cualquiera de las dos anteriores ( $\eta_e$  todo mal).

Si se plantea que esta misma caldera, en su caso más desfavorable de pérdidas, aprovechará el fenómeno de condensación ( $\eta_e$  condensación), se ve en el gráfico, que hasta cargas parciales medias del 50%, estas pérdidas se verían compensadas por el aprovechamiento del calor de condensación de los humos de combustión. Queda claro entonces el gran potencial de aprovechamiento energético de estas calderas con respecto a aquellas que no tienen esta tecnología. Ni que decir tiene, que una caldera de condensación bien aislada, de alto rendimiento y bien controlada sus pérdidas de ventilación por parras ofrece unas prestaciones inmejorables ( $\eta_e$  condensación óptimo).

Sólo disponible en CE<sup>3</sup>X Gran Terciario el programa incluye una serie de curvas del rendimiento a carga parcial en función de la tipología del mismo:

Indicar finalmente que el programa Ce3 intenta tener en cuenta las pérdidas térmicas en los subsistemas de distribución asumiendo un porcentaje (con respecto a la potencia transportada) de pérdidas de energía en función de la longitud y nivel del aislamiento

**Tabla 18.9:** % Pérdidas en el subsistema de distribución asignado por el programa Ce3

Nivel de Aislamiento Longitud	BAJO	MEDIO	ALTO
Corto	3	2	1
Largo	5	4	3
Muy largo	7	6	5

## 18.4. Norma UNE-EN 15378

Se Reproducen en esta apartado los valores que la norma UNE-EN 15378 Sistemas de calefacción en edificios. Inspección de calderas y sistemas de calefacción recopila en su anexo P Ejemplos de datos nacionales.

**Tabla 18.10:** Rendimiento estacional caldera individual de calefacción, fuente NL

Tipo de caldera (Rendimientos en valores netos)		Rendimiento estacional bruto de la caldera
Calentador local a gas o gasóleo (incluido el piloto)		65%
Calentador de aire a gas (excluido el piloto)	-sin datos de ensayo	75%
	-rendimiento neto a carga total $\geq 88,5\%$	80%
	-etiqueta Gaskeur HR 100 (rendimiento neto a carga parcial $\geq 101\%$ )	90%
	-etiqueta Gaskeur HR 104 (rendimiento neto a carga parcial $\geq 105\%$ )	92,5%
	-etiqueta Gaskeur HR 107 (rendimiento neto a carga parcial $\geq 108\%$ )	95%
Caldera de gasóleo para vivienda individual dentro del espacio calefactado o, Caldera de gasóleo para un edificio no residencia con una “superficie de usuario” $\leq 500 \text{ m}^2$ dentro del espacio calefactado Rendimiento excluyendo el piloto		75%
Caldera de gasóleo para vivienda individual fuera del espacio calefactado o, Caldera de gasóleo en una instalación de calefacción colectiva para más viviendas o, Caldera de gasóleo para un edificio no residencia con una “superficie de usuario” $> 500 \text{ m}^2$ dentro del espacio calefactado Todos los rendimientos excluyendo piloto		70%

**Tabla 18.11:** Rendimiento estacional caldera individual de calefacción, fuente NL

Tipo de caldera (rendimientos en valores netos)		Rendimiento estacional bruto de la caldera	
Caldera a gas para vivienda individual, dentro del espacio calefactado O Caldera a gas para un edificio no residencial con una “superficie de usuario” $\leq 500 \text{ m}^2$ , dentro del espacio calefactado		$T_{\text{CLF,gen,imp,dsñ}} \leq 55^\circ\text{C}$	$T_{\text{CLF,gen,imp,dsñ}} > 55^\circ\text{C}$
Todos los rendimientos excluyendo el piloto	-sin datos de ensayo	75%	75%
	-rendimiento neto a carga total $\geq 88,5\%$	80%	80%
	-etiqueta Gaskeur HR 100 (rendimiento neto a carga parcial $\geq 101\%$ )	92,5%	90%
	-etiqueta Gaskeur HR 104 (rendimiento neto a carga parcial $\geq 105\%$ )	95%	92,5%
	-etiqueta Gaskeur HR 107 (rendimiento neto a carga parcial $\geq 108\%$ )	97,5%	95%
Caldera a gas para vivienda individual, fuera del espacio calefactado O Caldera a gas en una instalación de calefacción colectiva para más viviendas O Caldera a gas para un edificio no residencial con una “superficie de usuario” $> 500 \text{ m}^2$ , dentro del espacio calefactado		$T_{\text{CLF,gen,imp,dsñ}} \leq 55^\circ\text{C}$	$T_{\text{CLF,gen,imp,dsñ}} > 55^\circ\text{C}$
Todos los rendimientos excluyendo el piloto	-sin datos de ensayo	70%	70%
	-rendimiento neto a carga total $\geq 88,5\%$	75%	75%
	-etiqueta Gaskeur HR 100 (rendimiento neto a carga parcial $\geq 101\%$ )	87,5%	85%
	-etiqueta Gaskeur HR 104 (rendimiento neto a carga parcial $\geq 105\%$ )	90%	87,5%
	-etiqueta Gaskeur HR 107 (rendimiento neto a carga parcial $\geq 108\%$ )	92,5%	90%

**Tabla 18.12:** Rendimiento estacional caldera para ACS, fuente NL

Tipo de caldera (rendimiento en valores netos)	Rendimiento bruto o superior estacional de la caldera
<b>Calderas individuales</b>	
Calentador de agua a gas o caldera mixta	30%
Etiqueta Gaskeur CW del calentador de agua caliente a gas	40%
Etiqueta Gaskeur CW de la caldera mixta a gas	50%
Etiqueta Gaskeur HR/ CW de la caldera mixta a gas	60%
<b>Sistemas colectivos</b>	
Calentador acumulador de agua caliente a gas (>70kW)	50%

**Tabla 18.13:** Rendimiento estacional caldera, fuente UK

Combustible, antigüedad de la caldera y tipo	Rendimiento estacional
Gas, anterior a 1979, tiro natural o equilibrado, de pie	55%
Gas, de 1979 a 1997, tiro natural o equilibrado, de pie	65%
Gas, anterior a 1998, tiro natural o equilibrado, mural	65%
Gas, anterior a 1998, tiro forzado con ventilador, capacidad térmica alta	68%
Gas, anterior a 1998, tiro forzado con ventilador, capacidad térmica baja	72%
Gas, anterior a 1998, condensación	85%
Gas, de 1998 en adelante, sin condensación, con piloto permanente	69%
Gas, de 1998 en adelante, sin condensación, con encendido automático	73%
Gas, de 1998 en adelante, con condensación, con encendido automático	79%
Gasóleo, anterior a 1985	83%
Gasóleo, de 1985 a 1997	65%
Gasóleo, de 1998 en adelante, sin condensación	70%
Gasóleo condensación	79%
Combustible sólido, alimentación manual, instalado en un espacio sin calefactar	83%
Combustible sólido, alimentación manual, instalado en un espacio sin calefactar	55%
Combustible sólido, alimentación manual, instalado en un espacio calefactado	60%
Combustible sólido, alimentación automática, instalado en un espacio sin calefactar	60%
Combustible sólido, alimentación automática, instalado en un espacio calefactado	65%

En esta misma norma en el anexo N Rendimiento estacional de la caldera propone utilizar los datos de identificación de la caldera a la carga parcial de 30% para estimar el rendimiento estacional de la caldera (se multiplicará este valor por un factor tabulado en una tabla nacional).

Si no se dispone del rendimiento a la carga del 30%, se utilizan los datos a **carga total** y se multiplicará por otro factor diferente.

Aun no se tiene en España esa tabla, pero la norma propone utilizar la siguiente (para calderas domésticas):

**Tabla 18.14:** Cálculo rendimiento estacional a partir del rendimiento parcial

DE PIE				MURAL			
Tiro natural		Tiro forzado		Tiro natural		Tiro forzado	
Piloto permanente	Encendido electrónico	Piloto permanente	Encendido electrónico	Piloto permanente	Encendido electrónico	Piloto permanente	Encendido electrónico
0,85* $\eta$ Pint	0,90* $\eta$ Pint	0,91* $\eta$ Pint	0,94* $\eta$ Pint	0,91* $\eta$ Pint	0,94* $\eta$ Pint	0,92* $\eta$ Pint	0,96* $\eta$ Pint
0,80* $\eta$ Pn	0,85* $\eta$ Pn	0,87* $\eta$ Pn	0,92* $\eta$ Pn	0,87* $\eta$ Pn	0,92* $\eta$ Pn	0,89* $\eta$ Pn	0,94* $\eta$ Pn

Una lectura rápida de los anteriores cuadros determina que las calderas murales tienen mejor prestación energética a igualdad de condiciones que las calderas de pie, y además dentro de una de estas dos familias (calderas de pie y calderas murales) las calderas de tiro forzado tienen mejores prestaciones que las calderas de tiro natural.



Dentro de una misma familia las calderas de encendido electrónico tienen mejor rendimiento estacional que las calderas con piloto permanente.

Se podría deducir también, que el cálculo del rendimiento estacional a partir de las características de la caldera a carga parcial del 30% es menos severo que las obtenidas a partir de la potencia nominal a plena carga.

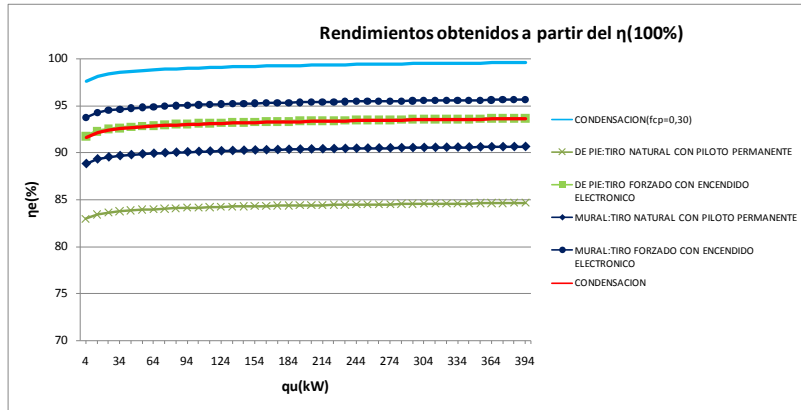


Imagen 18.2: Rendimiento obtenidos del rendimiento a plena carga

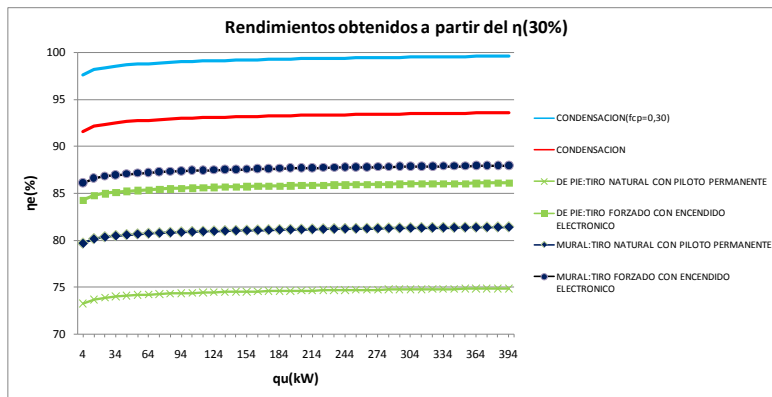


Imagen 18.3: Rendimiento obtenidos del rendimiento a carga intermedia

## 19. Anexo VII. Ejercicios de aplicación normas CEN

Se desarrollan en este capítulo varios ejemplos para aplicar la metodología desarrollada en anteriores apartados sobre un edificio teórico. Se propondrá al Comité Europeo de Normalización este ejercicio para su inclusión como documento informativo para completar las normas CEN pues no existe ejemplo de un edificio sobre el que se aplicara todas las fórmulas descritas.

### 19.1. Calefacción

Se trata de un edificio de viviendas situado en la ciudad de Madrid (zona climática D3) con una longitud de planta  $L_{\text{reg}} = 10$  m y ancho  $L_{\text{anch}} = 8$  m, dos plantas  $n_{\text{pln}}=2$  con una altura de la planta  $h_{\text{pln}} = 3$  m. Planta calentada:  $A_{\text{zon}} = 160$  m<sup>2</sup>. El año de construcción es el 2007 (posterior al CTE).

Con el programa LIDER y la herramienta PostCALENER se han 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 10.616,558 kWh para los meses de enero, febrero, marzo, abril, mayo, octubre, noviembre y diciembre ( $t_{\text{CLF,ON-OFF}} = 4.131$  h) y se ha demandado energía durante esos meses  $t_{\text{CLF,ON}} = 3.034$  h.

**Tabla 19.1:** Ejemplo de cálculo, datos obtenidos del PostCALENER (nivel de ventilación 1ren/h).

MES	Q <sub>CLF</sub> (Wh)	Q <sub>CLF</sub> (kWh/m <sup>2</sup> )	t <sub>CLF,ON</sub> (h)	t <sub>CLF,ON-OFF</sub> (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	31	527
JUNIO				
JULIO				
AGOSTO				
SETIEMBRE				
OCTUBRE	360.569	2	227	527
NOVIEMBRE	1.605.493	10	475	510
DICIEMBRE	2.360.663	15	496	527
<b>TOTAL</b>	<b>10.616.558</b>	<b>66</b>	<b>3.034</b>	<b>4.131</b>

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  $\Phi_{\text{CLF,ems}} = 14.000$  W (87,5 W/m<sup>2</sup>) (un total de 12 radiadores). Las temperaturas de trabajo, situación, equilibrado y control de los emisores son las siguientes:

- Temperatura de impulsión de diseño:  $T_{\text{imp,dsñ,ems}} = 55$  °C.
- Temperatura de retorno de diseño:  $T_{\text{rr,dsñ,ems}} = 45$  °C.
- Colocación de los radiadores: todos en pared externa. Equilibrio estático.
- Control con actuación termostática (colocación del termostato en local principal, salón).
- Radiadores estándar:  $\Delta p_{\text{pln}} = 0$ , generador:  $\Delta p_{\text{gnr}} = 1$  kPa.

Se trata de un edificio de nueva construcción con las siguientes características del subsistema de distribución:

- Edificios nuevos<sup>191</sup>

<sup>191</sup> En España se considera edificación nueva a la que se haya ejecutado según el CTE.

- Sistema de calefacción bitubo.
- Bomba con diferencia de presión variable ( $\Delta p$  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 aislada).
- $\Phi_{Pn} = 20 \text{ kW}$   $\eta_{Pn} = 96\%$   $P_{aux,Pn} = 210$ .
- $\eta_{Pint} = 106\%$   $W_{P_{aux,Pint}} = 60 \text{ W}$   $P_{aux,P0} = 10 \text{ W}$ .
- 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 debida a ventiladores ni bombas adicionales  $W_{CLF,bmb-vnt} = 0$  ni existe consumo energético por los sistemas de control ecuación 5.3):

$$W_{CLF,ems,aux} = W_{CLF,ems,ctr} + W_{CLF,ems,bmb-vnt} = 0$$

La parte de esta energía que puede ser recuperada para abastecer la demanda de calefacción es.

$$Q_{CLF,ems,aux,rcp} = \xi_{CLF,ems,aux,rcp} \cdot W_{CLF,ems,aux} = 0,8 \cdot 0 = 0 \text{ kWh}$$

Se analizan ahora las pérdidas térmicas en el sistema de emisión. Para calcular las pérdidas térmicas se proponen dos métodos en el capítulo 5 (normas CEN).

Con el método de la eficiencia se necesita conocer la diferencia de temperatura del emisor en las condiciones de diseño con una temperatura interior de referencia de 20°C:

$$\Delta T_{CLF,ems,dñ} = \frac{T_{imp,dñ,ems} + T_{rtr,ems,dñ}}{2} - T_{int,rfr} = \frac{55 + 45}{2} - 20 = 30^\circ \text{C}$$

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  $\eta_{CLF,ems,str2} = 0,95$  y mediante la ecuación 5-12 se obtiene  $\eta_{CLF,ems,str}$

$$\eta_{CLF,ems,str} = \frac{\eta_{CLF,ems,str1} + \eta_{CLF,ems,str2}}{2} = \frac{0,95 + 0,95}{2} = 0,95$$

De la misma tabla se obtiene  $\eta_{CLF,ems,psc} = 1$  y  $\eta_{CLF,ems,ctr} = 0,88$  y se obtiene  $\eta_{CLF,ems}$  de la ecuación 5-10

$$\eta_{CLF,ems} = \frac{1}{\left(4 - (\eta_{CLF,ems,str} + \eta_{CLF,ems,psc} + \eta_{CLF,ems,ctr})\right)} = \frac{1}{\left(4 - (0,95 + 1 + 0,88)\right)} = 0,85$$

De la tabla 5.5 se obtiene  $f_{CLF,ems,hdr} = 1,01$ ,  $f_{CLF,ems,intr} = 0,97$ ,  $f_{CLF,ems,rad} = 1$  y finalmente se obtiene  $Q_{ems,prd}$

$$Q_{CLF,ems,prd,mms} = \left( \frac{f_{CLF,ems,hdr} \cdot f_{CLF,ems,intr} \cdot f_{CLF,ems,rdc}}{\eta_{CLF,ems}} - 1 \right) \cdot Q_{CLF,mms}$$

$$Q_{CLF,ems,prd} = \left( \frac{1,01 \cdot 0,97 \cdot 1}{0,85} - 1 \right) \cdot Q_{CLF} = 0,15 \cdot Q_{CLF} = 0,15 \cdot 10.656,558 = 1.552,661 \text{ kWh}$$

Y por tanto la energía térmica de entrada en el subsistema de emisión es

$$Q_{CLF,ems,ent} = Q_{CLF,ems,sld} + Q_{CLF,ems,prd} - Q_{CLF,ems,aux,rcp} - Q_{CLF,ems,prd,rcp}$$

$$Q_{CLF,ems,ent} = 10.656,558 + 1.552,661 - 0 - 0 = 12.169,219 \text{ kWh}$$

Operando de igual forma se puede obtener los resultados mes a mes.

**Tabla 19.2:** Ejemplo de cálculo, datos del subsistema de emisión.

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	Wh	h	Wh	Wh	Wh	Wh	-
ENERO	2.352.397	527	0	0	344.036	2.696.433	86,38
FEBRERO	1.805.592	476	0	0	264.066	2.069.658	
MARZO	1.293.771	527	0	0	189.213	1.482.984	
ABRIL	838.072	510	0	0	122.567	960.639	
MAYO	0	527	0	0	0	0	-
JUNIO							
JULIO							
AGOSTO							
SEPTIEMBRE							
OCTUBRE	360.569	527	0	0	52.733	413.302	86,38
NOVIEMBRE	1.605.493	510	0	0	234.802	1.840.295	
DICIEMBRE	2.360.663	527	0	0	345.245	2.705.908	
TOTAL	10.616.558	4.131	0	0	1.552.661	12.169.219	86,38
TOTAL(kWh)	10.617		0	0	1.553	12.169	
TOTAL(kWh/m <sup>2</sup> )	66				10	76	

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):

$$\eta_{CLF,ems} = \frac{Q_{CLF,ems,sld}}{f_{GN} \cdot Q_{CLF,ems,ent} + f_{elc} \cdot W_{CLF,ems,aux}} = \frac{10.617}{1,01 \cdot 12.169 + 2,6 \cdot 0} = 86,38\%$$

Los valores mensuales quedan recogidos en la tabla 19.2

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 de obtiene de la tabla 5.21  $\Delta T_{CLF,ems,str} = 0,2^\circ\text{C}$  ( $\Delta T_{ln,CLF,ems,dst} = (T_{ems,imp,dst} + T_{ems,dst,rtr})/2 - T_{int,rtr} = (55+45)/2 - 20 = 30 < 40\text{K}$ ). 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

$$\Delta T_{CLF,ems,cnt} = 0,45 \cdot (\text{histéresis} + \text{efecto de la temperatura del agua}) = 0,45 \cdot (1 + 1,5) = 1,1^\circ\text{C}$$

$$\text{Por tanto } \Delta T_{int,inc} = T_{int,inc} - T_{int,ini} = \Delta T_{CLF,ems,str} + \Delta T_{CLF,ems,cnt} = 0,2 + 1,1 = 1,3^\circ\text{C}$$

$$Q_{CLF,ems,prd} = \frac{\Delta T_{int,inc}}{T_{int,ini} - T_{ext,med}} \cdot Q_{CLF} = \frac{1,3}{20 - 5} \cdot 10.617 = 0,10 \cdot 10.617 = 894,66 \text{ kWh}$$

Finalmente

**Tabla 19.3:** Ejemplo de cálculo, subsistema de emisión por el método de incremento de temperatura

	Q <sub>CLF</sub>	T <sub>ext, med</sub> <sup>a</sup>	W <sub>CLF,dst,aux</sub>	Q <sub>CLF,ems,aux,rcp</sub>	Q <sub>CLF,ems,prd</sub>	Q <sub>CLF,ent,ems</sub>	η <sub>CLF,ems</sub>
	Wh	°C	Wh	Wh	Wh	Wh	-
ENERO	2.352.397	3	0	0	204.378	2.556.775	91,10
FEBRERO	1.805.592	3	0	0	162.271	1.967.863	90,85
MARZO	1.293.771	4	0	0	124.574	1.418.346	90,31
ABRIL	838.072	5	0	0	86.112	924.184	89,78
MAYO	0	7	0	0	0	0	-
JUNIO							
JULIO							
AGOSTO							
SETIEMBRE							
OCTUBRE	360.569	7	0	0	40.250	400.819	89,07
NOVIEMBRE	1.605.493	4	0	0	152.235	1.757.728	90,43
DICIEMBRE	2.360.663	3	0	0	206.410	2.567.073	91,05
TOTAL	10.616.558	0	0	0	976.230	11.592.788	90,67
<b>TOTAL (kWh)</b>	10.617	5 (valor medio)	0	0	976	11.593	
<b>TOTAL(kWh/m<sup>2</sup>)</b>	66				6	72	

<sup>a</sup>Valor promedio de la temperatura seca del mes. Obtenida de los archivos de postCALENER.

Observar que no se adquiere igual valor que en el caso de hacer un cálculo anual (976>895) 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):

$$\eta_{CLF,ems} = \frac{Q_{CLF,ems,sld}}{f_{GN} \cdot Q_{CLF,ems,ent} + f_{elc} \cdot W_{CLF,ems,aux}} = \frac{10.617}{1,01 \cdot 11.593 + 2,6 \cdot 0} = 90,67\%$$

Los valores mensuales quedan recogidos en la tabla 19.3.

Los datos que se necesitan en este segundo métodos 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.

DISTRIBUCION: Q<sub>CLF,dst,sld</sub>= Q<sub>CLF,ems,ent</sub>=12.169 kWh

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.

$$V_{CLF,dst} = \frac{3600 \cdot \phi_{CLF,ems}}{C_{e,ag} \cdot \rho_{ag} \cdot \Delta T_{CLF,dst,dst}} = \frac{3.600 \cdot 14}{4,184 \cdot 1.000 \cdot 10} = 1,205 \frac{m^3}{h}$$

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<sub>CLF,otr</sub>=10 m (sistema de calefacción bitubo)

$$L_{CLF,dst,max} = 2 \cdot \left( L_{lrg} + \frac{L_{anch}}{2} + n_{p,ln} \cdot h_{p,ln} + L_{CLF,otr} \right) = 2 \cdot \left( 10 + \frac{8}{2} + 2 \cdot 3 + 10 \right) = 60m$$

$$\Delta p_{CLF,ds\tilde{n}} = 0,13 \cdot L_{CLF,dst,max} + 2 + \Delta p_{CLF,p\ln} + \Delta p_{CLF,gnr} = 0,13 \cdot 60 + 2 + 0 + 1 = 10,8kPa$$

$$P_{CLF,hdr,ds\tilde{n}} = \frac{1.000}{3.600} \cdot V_{CLF,ds\tilde{n}} \cdot \Delta p_{CLF,ds\tilde{n}} = 0,2778 \cdot 1,205 \cdot 10,8 = 3,61 W$$

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 ( $P_{CLF,hdr,ds\tilde{n}}$ ), la carga parcial media de la distribución ( $\beta_{CLF,dst}$ ) y las horas de calefacción en el periodo de tiempo ( $t_{CLF,ON-OFF}$ ):

$$W_{CLF,dst,hdr,anl} = \frac{P_{CLF,hdr,ds\tilde{n}}}{1.000} \cdot \beta_{CLF,dst,anl} \cdot t_{CLF,ON-OFF,anl} \cdot f_{CLF,T_{imp}} \cdot f_{CLF,red,hdr} \cdot f_{CLF,A,emsr} \cdot f_{CLF,eql,hdr} \cdot f_{CLF,gnr,bmb,int}$$

$$\beta_{CLF,dst,anl} = \frac{Q_{CLF,dst,sld}}{\phi_{ems} \cdot t_{CLF,ON-OFF,anl}} = \frac{12.119}{14 \cdot 4.131} = 0,21$$

Además

- $f_{T_{imp}}=1$  Temperatura de impulsión variable
- $f_{red,hdr}=1$  Sistema bitubo en anillo
- $f_{A,emsr}=1$  No está sobredimensionado (la demanda máxima simultanea horaria simulada fue 14.290 W producida el 5 de diciembre a las 8 h solares)
- $f_{eql,hdr}=1$  Sistema equilibrado
- $f_{gnr,bmb,int}=1$  Generador estándar controlado por temperatura exterior

$$W_{CLF,dst,hdr,anl} = \frac{3,61}{1.000} \cdot 0,21 \cdot 4.131 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 3,14 kWh/año$$

El cálculo de consumo de energía auxiliar (eléctrica) se da mediante

$$W_{CLF,dst,aux,anl} = W_{CLF,dst,hdr,anl} \cdot e_{CLF,dst}$$

Para calcular el factor  $e_{CLF,dst}$  hay que valerse de las siguientes dos expresiones (edificio nuevo b=1):

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

$$f_{CLF,dst,efc} = \left( 1,25 + \left( \frac{200}{3,61} \right)^{0,5} \right) \cdot 1,5 \cdot 1 = 13,03$$

$C_{p1}=0,9$  control de la bomba por diferencia de presión variable ( $C_{p2}=1-C_{p1}=0,9$ )

$$e_{CLF,dst} = f_{cnt} \cdot f_{fcp} \cdot f_{\eta} \cdot f_{ds\tilde{n}} = \left( C_{p1} + C_{p2} \cdot \frac{1}{\beta_{dst}} \right) \cdot f_{efc} = \left( 0,9 + 0,1 \cdot \frac{1}{0,21} \right) \cdot 13,03 = 17,93$$

$$W_{CLF,dst,aux,anl} = W_{CLF,dst,hdr,anl} \cdot e_{CLF,dst} = 3,14 \cdot 17,93 = 56 kWh$$

Se estima el consumo de energía eléctrica 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  $k_{CLF,arm}$  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 entonces  $k_{CLF,prd}=1-0,03-0,71=0,26$ ):

$$W_{CLF,dst,aux,int} = W_{CLF,dst,aux} \cdot (k_{CLF,ord} + 0,6 \cdot k_{CLF,arm} + 0,03) = 67 \cdot (0,71 + 0,6 \cdot 0,26 + 0,03) = 50 \text{ kWh}$$

Energía auxiliar recuperada en el subsistema de distribución:

$$W_{CLF,dst,aux,rcr} = f_{CLF,aux,rcp} \cdot W_{CLF,dst,aux,int} = 0,75 \cdot 50 = 38 \text{ kWh}$$

Energía recuperable para la calefacción del local:

$$W_{CLF,dst,aux,rcb} = (1 - f_{CLF,aux,rcp}) \cdot W_{CLF,dst,aux,int} = (1 - 0,75) \cdot 50 = 13 \text{ kWh}$$

Para realizar los cálculos mensuales se opera según la ecuación 5-23

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

**Tabla 19.4:** Ejemplo de cálculo, datos del subsistema de distribución

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	0,37	12,48	11,17	8,38	2,79
FEBRERO	0,31	9,58	8,57	6,43	2,14
MARZO	0,20	6,86	6,14	4,61	1,54
ABRIL	0,13	4,44	3,98	2,98	0,99
MAYO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
JUNIO					
JULIO					
AGOSTO					
SETIEMBRE					
OCTUBRE	0,06	1,91	1,71	1,28	0,43
NOVIEMBRE	0,26	8,51	7,62	5,72	1,91
DICIEMBRE	0,37	12,52	11,21	8,41	2,80
TOTAL	0,21	56	50	38	13
kWh/m <sup>2</sup>		0,35	0,32	0,24	0,08

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 discurren las tuberías.

$$Q_{CLF,dst,prd} = \sum_j q_{CLF,dst,prd,j} \cdot L_{CLF,j} \cdot t_{CLF,ON-OFF}$$

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 5.29) y zonas no calefactadas  $q_{CLF,dst,prd, no clf}$  ( $T_{int}=13^{\circ}\text{C}$  tabla 5.29)

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

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

Se empieza calculando los tramos de tuberías según la tabla 5.29 pues no se conoce la distribución real de las mismas.

$$L_{CLF,gnr} = 2 \cdot L_{lrg} + 0,01625 \cdot L_{lrg} \cdot (L_{anch})^2 = 2 \cdot 10 + 0,01625 \cdot 10 \cdot (8)^2 = 28,6 m$$

$$L_{CLF,edf} = 0,025 \cdot L_{lrg} \cdot L_{anch} \cdot h_{p\ln} \cdot n_{p\ln} = 12 m$$

$$L_{CLF,cnx} = 0,55 \cdot L_{lrg} \cdot L_{anch} \cdot n_{p\ln} = 88 m$$

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)  $\Psi_{no\ clf} = 0,2$  W/mK y para locales calefactados ( $L_{CLF,edf}$  y  $L_{CLF,cnx}$ )  $\Psi_{clf} = 0,3$  W/mK (tabla 16.8 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 función de las condiciones exteriores:

$$T_{CLF,dst,med}(\beta_{CLF,dst}) = T_{ems,med}(\beta_{CLF,dst}) = \Delta T_{CLF,ems,dst} \cdot \beta_{CLF,dst}^{1/n} + T_{int} = 30 \cdot 0,21^{1/1,33} + 20 = 29,29^\circ C$$

$$T_{CLF,dst,imp,med}(\beta_{CLF,dst}) = T_{ems,imp,med}(\beta_{CLF,dst}) = (T_{ems,imp,dst} - T_{int}) \cdot \beta_{CLF,dst}^{1/n} + T_{int} = (55 - 20) \cdot 0,21^{1/1,33} + 20 = 30,84^\circ C$$

$$T_{CLF,dst,rtr,med}(\beta_{CLF,dst}) = T_{ems,rtr,med}(\beta_{CLF,dst}) = (T_{ems,rtr,dst} - T_{int}) \cdot \beta_{CLF,dst}^{1/n} + T_{int} = (45 - 20) \cdot 0,21^{1/1,33} + 20 = 27,74^\circ C$$

Por tanto

$$q_{CLF,dst,prd,clf,j} = 0,3 \cdot (29,29 - 20) = 2,79 \text{ W/m}$$

$$q_{CLF,dst,prd,no\ clf} = 0,2 \cdot (29,29 - 13) = 3,26 \text{ W/m}$$

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:

$$Q_{CLF,dst,prd,rcb} = \sum_j q_{CLF,dst,prd,clf,j} \cdot L_{CLF,clf,j} \cdot t_{CLF,ON-OFF} = 2,79 \cdot (88) \cdot 4.131 = 1.013 \text{ kWh}$$

Dada la suma de la longitud de la tubería  $L_{T,no\ clf}$  en locales no calentados o sin control se obtiene la pérdida térmica del sistema no recuperable

$$Q_{CLF,dst,prd,no\ rcb} = \sum_j q_{CLF,dst,prd,no\ clf} \cdot L_{CLF,no\ clf} \cdot t_{CLF,ON-OFF} = 2,96 \cdot (28,6 + 12) \cdot 4.131 = 547 \text{ kWh}$$

La pérdida térmica total del sistema viene dada por:

$$Q_{CLF,dst,prd} = Q_{CLF,dst,prd,rcb} + Q_{CLF,dst,prd,no\ rcb} = 1.013 + 547 = 1.560 \text{ kWh}$$

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.



**Tabla 19.5:** Ejemplo de cálculo, datos de pérdidas del subsistema de distribución.

MES	$\beta_{dst}$	$T_{med,dst}$	$q_{CLF,dst,prd}$	$q_{CLF,dst,prd,no\ clf}$	$Q_{CLF,dst\ prd,rcb}$	$Q_{CLF,dst,prd,no\ rcb}$	$Q_{CLF,dst,prd}$	
		°C	W/m	W/m	kWh	kWh	kWh	
ENERO	0,37	34,07	4,22	4,21	195,82	90,18	286,00	
FEBRERO	0,31	32,45	3,74	3,89	156,49	75,19	231,68	
MARZO	0,20	28,98	2,69	3,20	124,92	68,38	193,29	
ABRIL	0,13	26,64	1,99	2,73	89,39	56,48	145,88	
MAYO	0,00	20,00	0,00	1,40	0,00	29,95	29,95	
JUNIO								
JULIO								
AGOSTO								
SETIEMBRE								
OCTUBRE	0,06	23,44	1,03	2,09	47,80	44,66	92,46	
NOVIEMBRE	0,26	30,82	3,25	3,56	145,74	73,81	219,56	
DICIEMBRE	0,37	34,11	4,23	4,22	196,34	90,34	286,68	
TOTAL CALCULO MES A MES					956	529	1.486	
					kWh/m <sup>2</sup>	6	3	9
TOTAL CALCULO ANUAL					1.013	547 <sup>192</sup>	1.560	
DIFERENCIA (%)					6	3	5	

$$Q_{CLF,dst,ent} = Q_{CLF,dst,sld} + Q_{CLF,dst,prd} - Q_{CLF,dst,prd,rcp} - Q_{CLF,dst,aux,rcp} = 12.169 + 1.560 - 1.013 - 38 = 13.694 \text{ kWh}$$

La eficiencia energética del subsistema de distribución es (ecuación 4-3):

$$\eta_{CLF,dst} = \frac{Q_{CLF,dst,sld}}{f_y \cdot Q_{CLF,dst,ent} + f_z \cdot W_{CLF,dst,aux}} = \frac{12.169}{1,01 \cdot 12.678 + 2,6 \cdot 50} = 94,08\%$$

El cálculo de los rendimientos mensuales se resume en el siguiente cuadro.

**Tabla 19.6:** Ejemplo de cálculo, datos de la eficiencia del subsistema de distribución.

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	
ENERO	2.696	286,00	204,20	2.778,24	95,11
FEBRERO	2.070	231,68	162,93	2.138,42	94,85
MARZO	1.483	193,29	129,53	1.546,75	93,97
ABRIL	961	145,88	92,38	1.014,14	92,85
MAYO	0	29,95	0,00	29,95	0,00
JUNIO					
JULIO					
AGOSTO					
SETIEMBRE					
OCTUBRE	413	92,46	49,08	456,68	88,75
NOVIEMBRE	1.840	219,56	151,46	1.908,39	94,51
DICIEMBRE	2.706	286,68	204,74	2.787,84	95,12
TOTAL	12169	1486	994	12660	94,20

GENERACION:  $Q_{CLF,gen,sld} = Q_{CLF,dst,ent} = 12.660 \text{ kWh}$

Se realiza el cálculo de las prestaciones del subsistema de generación por los tres métodos descritos en el apartado 5.3.

<sup>192</sup>Pérdidas permitidas según RITE:  $14 \text{ kW} \cdot 4131 \text{ h} \cdot 0,04 = 2.313 \text{ kWh}$

### Método de rendimiento estacional de la caldera basado en la tipología del sistema

Se calcula la energía auxiliar y la pérdida térmica recuperable. Como sólo hay instalado un generador, el factor de carga  $\beta_{CLF,gen}$  se calcula mediante

$$\beta_{CLF,gen} = \frac{Q_{CLF,gen,sl}}{\phi_{gnr,Pn} \cdot t_{CLF,ON-OFF}} = \frac{12.660}{20 \cdot 4.131} = 0,15$$

Si  $0 \leq \beta_{CLF,gen} = 0,15 \leq \beta_{CLF,int} = 0,3$  entonces  $P_{aux,gnr,P\beta}$  se da mediante

$$P_{aux,gnr,P\beta} = P_{aux,gnr,Po} + \frac{\beta_{CLF,gen}}{\beta_{CLF,int}} \cdot (P_{aux,gnr,Pint} - P_{aux,gnr,Po}) = 10 + \frac{0,15}{0,30} \cdot (60 - 10) = 35,54 \text{ W}$$

Y por tanto el consumo de energía auxiliar

$$W_{CLF,gen,aux} = W_{CLF,gnr,aux} = P_{aux,gnr,P\beta} \cdot t_{CLF,ON} + P_{aux,gnr,OFF} \cdot (t_{CLF,ON-OFF} - t_{CLF,ON})$$

$$W_{CLF,gen,aux} = 35,54 \cdot 3.750 + 10 \cdot (5.832 - 3.750) = 119 \text{ kWh}$$

La energía auxiliar recuperada transmitida al agua del circuito de distribución  $Q_{CLF,gen,aux,rcp}$  se calcula mediante:

$$Q_{CLF,gen,aux,rcp} = f_{CLF,gen,rcp,aux} \cdot W_{CLF,gen,aux} = 0,75 \cdot 133,32 = 99,99 \text{ kWh}$$

La energía auxiliar recuperable transmitida al local calentado  $Q_{CLF,gen,aux,rcb}$  se calcula mediante (caldera en el exterior  $b_{lcl}=1$ , tabla 5.36)

$$Q_{CLF,gen,aux,rcb} = f_{CLF,gen,rcb,aux} \cdot W_{CLF,gen,aux} \cdot (1 - b_{lcl}) = (1 - 0,75) \cdot 133,32 \cdot (1 - 1) = 0$$

Y por tanto la energía recuperable verdaderamente recuperada es cero

$$Q_{CLF,gen,aux,rcb,rcp} = 0,8 \cdot Q_{CLF,gen,aux,rcb} = 0,8 \cdot 0 = 0 \text{ kWh}$$

Al igual que en casos anteriores se realiza el cálculo mes a mes ( $\beta_{CLF,gnr,mms}$  diferente para cada mes).

**Tabla 19.7:** Ejemplo de cálculo, datos del subsistema de generación.

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	0,26	53,93	27	20	0	0
FEBRERO	0,22	47,44	22	16	0	0
MARZO	0,15	34,46	17	12	0	0
ABRIL	0,10	26,57	12	9	0	0
MAYO	0,00	10,47	5	4	0	0
JUNIO						
JULIO						
AGOSTO						
SETIEMBRE						
OCTUBRE	0,04	17,22	7	5	0	0
NOVIEMBRE	0,19	41,18	20	15	0	0
DICIEMBRE	0,26	54,08	27	20	0	0
TOTAL			136	102	0	0
kWh/m <sup>2</sup>			0,85	8,64		

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 tipología se trata una caldera de condensación.

En segundo lugar se obtienen los datos de ensayo.

$$\Phi_{\text{gnr,Pn}} = 20 \text{ kW} \quad \eta_{\text{gnr,Pn}} = 96\% \quad \eta_{\text{gnr,Pint}} = 106\%$$

A continuación se debe reducir al máximo los valores de eficiencia de ensayo según lo indicado en la tabla 18.1. En este caso no es necesario

$$\eta_{\text{gnr,Pn}} = 96\% < 101\% \quad \eta_{\text{gnr,Pint}} = 106\% < 107\%$$

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 18.2.

$$\eta_{\text{gnr,Pn,corr}} = \eta_{\text{gnr,Pn}} \cdot f_{\text{corr}} = 96 \cdot 0,901 = 86,5\%$$

$$\eta_{\text{gnr,Pint,corr}} = \eta_{\text{gnr,Pint}} \cdot f_{\text{corr}} = 106 \cdot 0,901 = 95,5\%$$

A continuación se categoriza la caldera: No tiene piloto encendido  $f_{\text{plt}} = 0$ . No es una caldera mixta de almacenamiento, ni una unidad de almacenamiento primaria combinada, ni una caldera mixta instantánea.

Con esto efectuado se selecciona la ecuación de la tabla 18.4 correspondiente, en este caso, la ecuación 102.

$$\eta_{\text{est,corr}} = \left( \frac{\eta_{\text{gnr,Pn,corr}} + \eta_{\text{gnr,Pint,corr}}}{2} \right) - 2 - 4 \cdot f_{\text{plt}} = \left( \frac{86,5 + 95,5}{2} \right) - 2 - 4 \cdot 0 = 89\%$$

Se convierte la eficiencia estacional corregida (poder calorífico superior) a la eficiencia estacional neta utilizando (poder calorífico inferior):

$$\eta_{\text{est}} = \eta_{\text{est,corr}} \cdot \frac{1}{f_{\text{corr}}} = 89 \cdot \frac{1}{0,901} = 98,8\%$$

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

$$Q_{\text{CLF,gen,prd}} = Q_{\text{CLF,gen,sld}} \cdot \frac{1 - \eta_{\text{est}}}{\eta_{\text{est}}} = 13.660 \cdot \frac{1 - 0,988}{0,988} = 156 \text{ kWh}$$

Se podría realizar el cálculo mes a mes como hasta ahora comprobando que no hay ningún cambio (ninguna variable independiente varía al realizarla mes a mes o anual)

**Tabla 19.8:** Ejemplo de cálculo, datos de pérdidas del subsistema de generación.

MES	$Q_{\text{CLF,gen,sld}}$ kWh	$Q_{\text{CLF,gen,prd}}$ kWh	$E_{\text{CLF,gen,ent}}$	$\eta_{\text{CLF,gen}}$
ENERO	2.778,24	34	2792,25	96,12
FEBRERO	2.138,42	26	2148,67	96,06
MARZO	1.546,75	19	1553,44	95,95
ABRIL	1.014,14	13	1017,86	95,81
MAYO	29,95	0	26,36	74,21
JUNIO				
JULIO				
AGOSTO				
SETIEMBRE				
OCTUBRE	456,68	6	457,13	95,21
NOVIEMBRE	1.908,39	24	1917,02	96,00
DICIEMBRE	2.787,84	34	2801,92	96,12
TOAL	12660	156	12715	95,94
kWh/m <sup>2</sup>	79,1	1	79,5	

Se calcula el requisito de calor del combustible.

$$E_{CLF,gen,ent} = Q_{CLF,gen,ent} = Q_{CLF,gen,sld} + Q_{CLF,gen,prd} - Q_{CLF,gen,aux,rcp} - Q_{CLF,gen,aux,rcb,rcp} = 12.660 + 156 - 89 - 0 = 12.715 \text{ kWh}$$

La eficiencia energética del subsistema de generación es (ecuación 4-3):

$$\eta_{CLF,gen} = \frac{Q_{CLF,gen,sld}}{f_y \cdot Q_{CLF,gen,ent} + f_z \cdot W_{CLF,gen,aux}} = \frac{12.660}{1,01 \cdot 12.715 + 2,6 \cdot 119} = 95,94\%$$

La eficiencia energética del servicio de calefacción es entonces:

$$\eta_{CLF,est} = \frac{Q_{CLF}}{f_y \cdot E_{CLF,ent} + f_z \cdot W_{CLF,aux}} = \frac{10.617}{1,01 \cdot 12.715 + 2,6 \cdot (0 + 50 + 119)} = 79,66\%$$

Con las siguientes eficiencias parciales

$$\eta_{CLF,gen} = 95,94 \quad \eta_{CLF,dst} = 94,20 \quad \eta_{CLF,ems} = 86,38$$

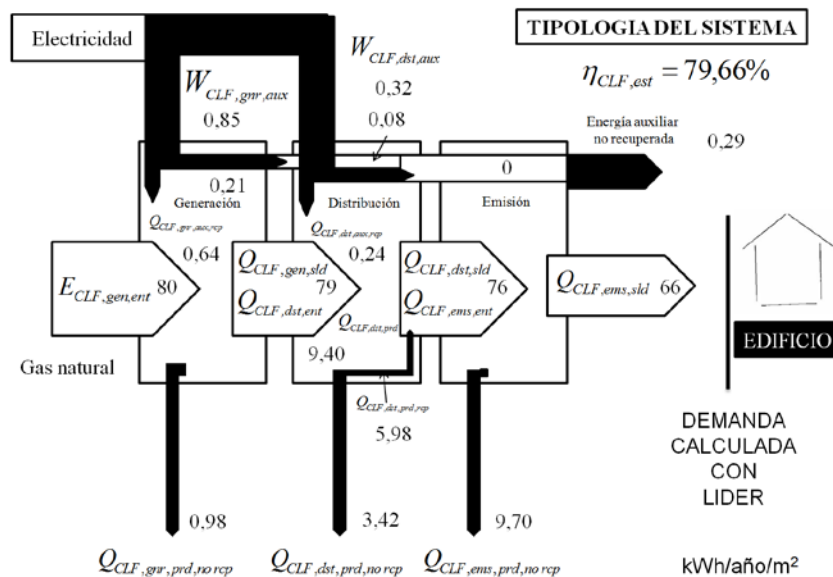


Imagen 19.1: Rendimiento estacional total por el método de tipología de caldera (kWh/año/m<sup>2</sup>).

### Método para el caso específico de la eficiencia de la caldera

El cálculo de la energía auxiliar es el desarrollado en el caso anterior, por tanto sólo 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.

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

Se calcula por tanto la temperatura media de operación del generador a plena carga ( $\Phi_{Pn}$ )

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

De la tabla 5.45 se obtiene que la  $T_{CLF,gnr,min} = 20^{\circ}C$ . 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 quedo indicado y además  $V_{CLF,gnr}$  es igual que el caudal del circuito de generación  $V_{CLF,gen}$  entonces ( $V_{CLF,gnr}=V_{CLF,gen}$ )

$$T_{CLF,gnr,imp} = T_{CLF,gen,imp} = T_{CLF,dst,imp} = 30,84^{\circ}C$$

$$T_{CLF,gnr,rtr} = T_{CLF,gen,rtr} = T_{CLF,dst,rtr} = 27,74^{\circ}C$$

$$T_{CLF,gnr,med} = (T_{CLF,gnr,imp} + T_{CLF,gnr,rtr})/2 = 29,29^{\circ}C$$

$$\eta_{gnr,Pn,corr} = 96 + 0,04 \cdot (70 - 27,54) = 104,5\%$$

Por tanto:

$$T_{CLF,gnr,corr,Px,med} = \max(T_{CLF,gnr,min}; T_{CLF,gnr,med}) = \max(20; 29,29) = 29,29$$

De la tabla 5.38  $T_{CLF,gnr,Pn,med,ens} = 70^{\circ}C$  y  $f_{corr,Pn} = 0,20\%/^{\circ}C$

$$\eta_{gnr,Pn,corr} = 96 + 0,2 \cdot (70 - 29,29) = 104,1\%$$

Finalmente la pérdida térmica del generador corregida a plena carga  $\Phi_{gnr,prd,Pn,corr}$  se calcula mediante ecuación 5-103

$$\phi_{gnr,prd,Pn,corr} = \frac{100 - \eta_{gnr,Pn,corr}}{\eta_{gnr,Pn,corr}} \cdot \phi_{gnr,Pn} = \frac{100 - 104,1}{104,1} \cdot 20 = -0,80 kW$$

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

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

Con  $\eta_{gnr,Pint} = 106\%$ ,  $f_{corr,Pint} = 0,20\%/^{\circ}C$  y  $T_{CLF,gnr,Pint,med,ens} = 30^{\circ}C$  (temperatura de retorno al generador para calderas de condensación) y  $T_{CLF,gnr,Pint,med,corr}$  corresponde con la temperatura de retorno al generador por tratarse de una caldera de condensación

$$T_{CLF,gnr,Pint,med,corr} = T_{CLF,gnr,rtr} = T_{CLF,gen,rtr} = T_{CLF,dst,rtr} = 27,74^{\circ}C$$

$$\eta_{gnr,Pint,corr} = 106 + 0,2 \cdot (30 - 27,74) = 106,5\%$$

La pérdida térmica del generador corregida a carga intermedia  $\Phi_{gnr,prd,Pint,corr}$  se calcula mediante

$$\phi_{gnr,prd,Pint,corr} = \frac{100 - \eta_{gnr,Pint,corr}}{\eta_{gnr,Pint,corr}} \cdot \phi_{gnr,Pint} = \frac{106 - 106,5}{106,5} \cdot 20 \cdot 0,3 = -0,36 kW$$

Se calcula a continuación la pérdida térmica del generador a la temperatura corregida al 0% carga (en espera)  $\Phi_{gnr,prd,P0,corr}$

$$\phi_{gnr,prd,P0,corr} = \left( \frac{T_{CLF,gnr,med} - T_{sdc}}{\Delta T_{gnr,P0,ens}} \right)^{1,25} \cdot \phi_{gnr,prd,P0}$$

La pérdida térmica en espera (a carga 0%)  $\Phi_{\text{gnr,prd,P0}}$  a la diferencia de temperatura de ensayo  $\Delta T_{\text{gnr,ens,P0}}$  se calcula mediante (caldera de condensación fabricada después de 1994  $C_5 = 4,8$  y  $C_6 = -0,35$  y  $\Delta T_{\text{gnr,ens,P0}} = 50^\circ\text{C}$ ):

$$\phi_{\text{gnr,prd,P0}} = \phi_{\text{gnr,Pn}} \cdot \frac{C_5}{100} \cdot \left( \frac{\phi_{\text{gnr,Pn}}}{1.000} \right)^{C_6} = 20 \cdot \frac{4,8}{100} \cdot \left( \frac{20}{1.000} \right)^{-0,35} = 0,34 \text{ kW}$$

$$\phi_{\text{gnr,prd,P0,corr}} = \left( \frac{T_{\text{CLF,gnr,med}} - T_{\text{sdC}}}{\Delta T_{\text{gnr,P0,ens}}} \right)^{1,25} \cdot \phi_{\text{gnr,prd,P0}} = \left( \frac{29,29 - 13}{50} \right)^{1,25} \cdot 0,34 = 0,08 \text{ kW}$$

Por tratarse de una caldera situada en una sala de caldera la  $T_{\text{sdC}}$  es de  $13^\circ\text{C}$  (tabla 5.42)

La potencia real media  $\Phi_{\text{gnr,P}\beta}$  de la caldera se da mediante

$$\phi_{\text{CLF,gen,sld}} = \frac{Q_{\text{CLF,gen,sld}}}{t_{\text{CLF,ON-OFF}}} = \frac{12.660}{4.131} = 3,1 \text{ kW}$$

Como  $0 (\beta_{\text{gnr}} = 0) < \Phi_{\text{P}\beta} = 3,1 \text{ kW} < \Phi_{\text{Pint}} (\beta_{\text{gnr}} = \beta_{\text{int}} = 0,3 * \Phi_{\text{Pn}} = 0,3 * 20 = 6 \text{ kW})$ , la pérdida térmica del generador  $\Phi_{\text{gnr,prd,P}\beta}$  se calcula mediante

$$\phi_{\text{CLF,gnr,prd,P}\beta} = \frac{\phi_{\text{gnr,P}\beta}}{\phi_{\text{gnr,Pint}}} \cdot (\phi_{\text{CLF,gnr,prd,Pint,corr}} - \phi_{\text{CLF,gnr,prd,P0,corr}}) + \phi_{\text{CLF,gnr,prd,P0,corr}}$$

$$\phi_{\text{CLF,gnr,prd,P}\beta} = \frac{3,1}{6} \cdot (-0,36 - 0,08) + 0,08 = -0,15 \text{ kW}$$

La pérdida térmica total de la caldera  $Q_{\text{gnr,prd}}$  durante el tiempo de operación considerado  $t_{\text{CLF,ON-OFF}}$  de la caldera se calcula mediante

$$Q_{\text{CLF,gen,prd}} = Q_{\text{CLF,gnr,prd}} = \phi_{\text{CLF,gnr,prd,P}\beta} \cdot t_{\text{CLF,ON-OFF}} = -0,15 \cdot 4.131 = -600 \text{ kWh}$$

Las pérdidas térmicas recuperables a través de la cubierta del generador  $Q_{\text{gnr,prd,env,rcb}}$  se calculan mediante

$$Q_{\text{CLF,gen,prd,env,rcb}} = \phi_{\text{gnr,prd,P0,corr}} \cdot (1 - b_{\text{lcl}}) \cdot f_{\text{gnr,env}} \cdot t_{\text{CLF,ON-OFF}}$$

Las pérdidas térmicas a través de la cubierta del generador valen  $f_{\text{gnr,env}} = 0,75$  ( tabla 5.44) y el factor de reducción de temperatura vale  $b_{\text{lcl}} = 1$  (tabla 5.36 caldera en el exterior) y por tanto:

$$Q_{\text{CLF,gen,prd,env,rcb}} = 0,08 \cdot (1 - 1) \cdot 0,75 \cdot 4.131 = 0 \text{ kWh}$$

Se reproducen los cálculos para la estimación no anual sino mensual

**Tabla 19.9:** Ejemplo de cálculo, datos del subsistema de generación por el método de la eficiencia.

MES	$T_{\text{imp}}$	$T_{\text{med}}$	$T_{\text{tr}}$	$\eta_{\text{Pn,corr}}$	$\Phi_{\text{pd,Pn,corr}}$	$\eta_{\text{Pint,corr}}$	$\Phi_{\text{pd,Pint,corr}}$	$\Phi_{\text{pd,P0,corr}}$	$\Phi_{\text{gnr}}$	$\Phi_{\text{prd,P}\beta}$	$Q_{\text{prd}}$	$E_{\text{ent}}$
	°C			-	kW	-	kW	kW	kW	kW	kWh	kWh
ENERO	36,42	34,07	31,73	103,19	-0,62	105,65	-0,32	0,11	5,27	-0,27	-141	2.617
FEBRERO	34,53	32,45	30,38	103,51	-0,68	105,92	-0,34	0,10	4,49	-0,23	-107	2.015
MARZO	30,48	28,98	27,48	104,20	-0,81	106,50	-0,37	0,08	2,94	-0,14	-73	1.462
ABRIL	27,75	26,64	25,53	104,67	-0,89	106,89	-0,39	0,07	1,99	-0,08	-43	963
MAYO	20,00	20,00	20,00	106,00	-1,13	108,00	-0,44	0,03	0,06	0,02	13	39
JUNIO												
JULIO												
AGOSTO												
SEPTIEMBRE												
OCTUBRE	24,01	23,44	22,86	105,31	-1,01	107,43	-0,41	0,05	0,87	-0,02	-10	441
NOVIEMBRE	32,63	30,82	29,02	103,84	-0,74	106,20	-0,35	0,09	3,74	-0,18	-94	1.800
DICIEMBRE	36,46	34,11	31,76	103,18	-0,62	105,65	-0,32	0,11	5,29	-0,27	-142	2.626
TOTAL											-597	11.961
TOTAL (kWh/m <sup>2</sup> )											-3,73	74,76

Se calcula el requisito de calor del combustible.

$$E_{\text{CLF,gen,ent}} = Q_{\text{CLF,gen,sld}} + Q_{\text{CLF,gen,prd}} - Q_{\text{CLF,gen,aux,rcp}} - Q_{\text{CLF,gen,prd,rcb,rcp}}$$

$$E_{CLF,gen,ent} = 12.660 + (-597) - 89 - 0 = 11.961 \text{ kWh}$$

La eficiencia energética del subsistema de generación es (ecuación 4-3):

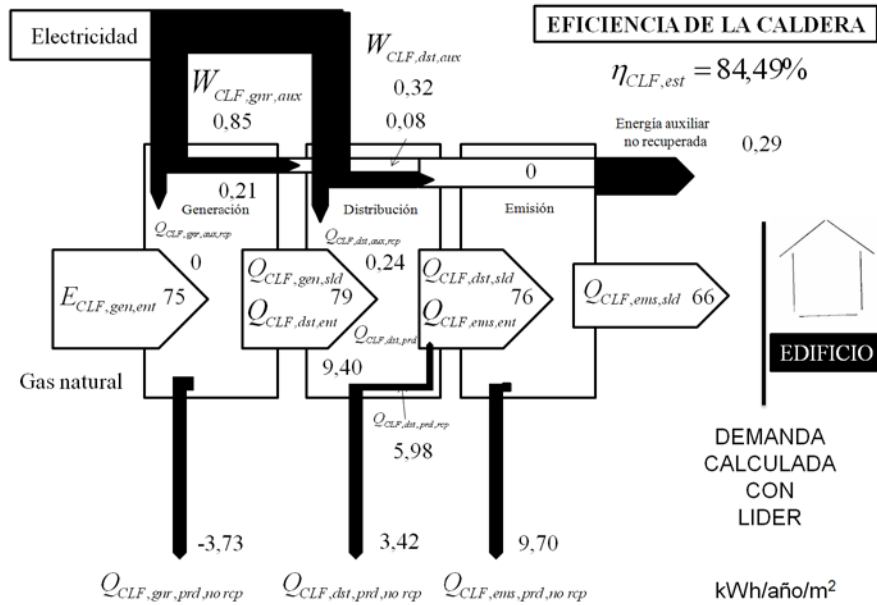
La eficiencia energética del servicio de calefacción es entonces:

$$\eta_{CLF,gen} = \frac{Q_{CLF,gen,sld}}{f_y \cdot Q_{CLF,gen,ent} + f_z \cdot W_{CLF,gen,aux}} = \frac{12.660}{1,01 \cdot 11.961 + 2,6 \cdot 136,11} = 101,81\%$$

$$\eta_{CLF,est} = \frac{Q_{CLF}}{f_y \cdot E_{CLF,ent} + f_z \cdot W_{CLF,aux}} = \frac{10.617}{1,01 \cdot 11.961 + 2,6 \cdot (0 + 50 + 136)} = 84,49\%$$

Con las siguientes eficiencias parciales

$$\eta_{CLF,gen} = 101,81 \quad \eta_{CLF,dst} = 94,20 \quad \eta_{CLF,ems} = 86,38$$



**Imagen 19.2:** Rendimiento estacional total por el método de eficiencia de caldera (kWh).

### 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 5.3.3.6.

En primer lugar se establece la temperatura media y de retorno del generador (cálculo realizado en el método anterior)

$$T_{CLF,grn,imp} = T_{CLF,gen,imp} = T_{CLF,dst,imp} = 30,84 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_{CLF,grn,rtr} = T_{CLF,gen,rtr} = T_{CLF,dst,rtr} = 27,74 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_{CLF,grn,med} = (T_{CLF,grn,imp} + T_{CLF,grn,rtr})/2 = 29,29 \text{ }^\circ\text{C}$$

Se calcula a continuación  $\alpha_{CLF,chn,ON,min,cnd}$  para lo que se necesita en primer lugar  $\alpha_{CLF,cnd,min}$ . Para ello se empieza calculando la temperatura de humos mínima ( $\Delta T_{hum-rtr,min} = 5^\circ\text{C}$  tabla 5.57)

$$T_{hum,min} = T_{CLF,grn,rtr} + \Delta T_{hum-rtr,min} = 27,74 + 5 = 32,74 \text{ }^\circ\text{C}$$

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  $X_{O_2,hum,sec,min} = 6$ , tabla 5.57 modulación tanto de aire como de gas)

$$V_{hum,sec,min} = V_{hum,est,sec} \cdot \frac{20,94}{20,94 - X_{O_2,sec,min}} = 9,32 \cdot \frac{20,94}{20,94 - 6} = 13,06 \text{ Nm}^3$$

Se calcula el aire de combustión real ( $V_{air,est,sec} = 10,34 \text{ Nm}^3/\text{Nm}^3$ )

$$V_{air,sec,min} = V_{air,est,sec} + V_{hum,sec,min} - V_{hum,est,sec} = 10,34 + 13,06 - 9,32 = 12,14 \text{ Nm}^3$$

Se calcula la humedad de saturación del aire y del gas de combustión (tabla 5.59)

$m_{H_2O,air,str} = 0,00493 \text{ kg}/\text{Nm}^3 \text{ seco}$  ( $T_{air} = 5^\circ\text{C}$ , media de la temperatura exterior de los meses de invierno)

$$m_{H_2O,hum,str} = 0,05182 \text{ kg}/\text{Nm}^3 \text{ seco} \quad (T_{hum} = 32,74^\circ\text{C})$$

Se calcula la humedad absoluta del aire de combustión y de los humos

$$m_{H_2O,air,min} = m_{H_2O,air,str} \cdot V_{air,sec,min} \cdot \frac{x_{air}}{100} = 4,93 \cdot 12,14 \cdot \frac{50}{100} = 30 \text{ g } H_2O$$

$$m_{H_2O,hum,min} = m_{H_2O,hum,str} \cdot V_{hum,sec,min} \cdot \frac{x_{hum}}{100} = 51,82 \cdot 12,14 \cdot \frac{100}{100} = 677 \text{ g } H_2O$$

Por último se calcula la cantidad de agua de condensación  $m_{H_2O,cnd}$  mediante ( $m_{H_2O,cmb,est}$  agua que se produce en la combustión del hidrocarburo correspondiente, tabla 5.58  $m_{H_2O,cmb,est} = 1,68 \text{ kg}/\text{Nm}^3$ ):

$$m_{H_2O,cnd,min} = m_{H_2O,cmb} + m_{H_2O,air,min} - m_{H_2O,hum,min} = 1,680 + 30 - 677 = 1.033 \text{ g } H_2O$$

El calor latente específico de condensación  $h_{cnd,hum,min}$  se calcula mediante:

$$h_{cnd,hum,min} = 694,61 \text{ Wh}/\text{kg} - 32,74 \cdot 0,6764 \text{ Wh}/\text{kg}^\circ\text{C} = 672 \text{ Wh}/\text{kg}$$

El calor de condensación  $Q_{cnd,min}$  se calcula con:

$$Q_{cnd,min} = m_{H_2O,cnd,min} \cdot h_{cnd,hum,min} = 695 \text{ Wh}$$

El cálculo se basa en los poderes caloríficos inferiores, entonces el calor latente de condensación recuperado  $\alpha_{cnd,min}$  se calcula mediante:

$$\alpha_{cnd,min} = 100 \cdot \frac{Q_{cnd,min}}{H_i} = 100 \cdot \frac{0,695}{8,79} = 6,43\%$$

Se intenta el procedimiento de una etapa utilizando los datos de potencia mínima estableciendo  $\beta_{CLF,cmb,min} = 1$

$$\alpha_{CLF, chm, ON, min, cnd} = \alpha_{CLF, chm, ON, min, corr} - \alpha_{cnd, min}$$

Con

$$\alpha_{CLF, chm, ON, min, corr} = \left( \alpha_{CLF, chm, ON, min} + (T_{CLF, gnr, rtr} - T_{CLF, gnr, ens, Pmin, med}) \cdot f_{corr, chm, ON} \right) \cdot (\beta_{CLF, cmb, min})^{n_{CLF, chm, ON}}$$

$\alpha_{chm, ON, min}$  es dato del enunciado  $\alpha_{chm, ON, min} = 5\%$  y  $T_{CLF, gnr, ens, Pmin, med} = 50^\circ\text{C}$  (tabla 5.55) y  $f_{corr, chm, ON} = 0,045 \text{ }^\circ\text{C}$  (tabla 5.47) y  $n_{chm, ON} = 0,1$  (tabla 5.48 caldera de acero).

$$\alpha_{CLF, chm, ON, min, corr} = (5 + (27,74 - 50) \cdot 0,045) \cdot (1)^{0,1} = 4\%$$

$$\alpha_{CLF, chm, ON, min, cnd} = \alpha_{CLF, chm, ON, min, corr} - \alpha_{cnd, min} = 4 - 6,43 = -2,43\%$$



Las pérdidas térmicas específicas reales a través de la cubierta del generador  $\alpha_{CLF,env,corr}$  se dan mediante:

$$\alpha_{CLF,env,corr} = \alpha_{CLF,env} \cdot k_{CLF,env,rcp} \cdot \frac{(T_{CLF,gnr,med} - T_{sd})}{(T_{CLF,gnr,ens,Pn,med} - T_{sd,ens})} \cdot (\beta_{CLF,cmb,min})^{n_{CLF,env}}$$

con  $n_{CLF,env} = 0$  ( tabla 5.50 bomba primaria esta siempre funcionando),  $k_{CLF,env,rcp} = 0,7$  (sala de calderas),  $T_{sd,ens} = 20^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{sd} = 13^{\circ}\text{C}$  (tabla 5.51 caldera en sala de caldera) y  $\alpha_{env}$  ( ecuación 5-130).

$$\alpha_{CLF,env} = C_1 - C_2 \cdot \log\left(\frac{\phi_{gnr,Pn}}{1000}\right) = 1,72 - 0,44 \cdot \log\left(\frac{20.000}{1.000}\right) = 1,15\%$$

y por tanto

$$\alpha_{CLF,env,corr} = 1,15 \cdot 0,7 \cdot \frac{(29,29 - 13)}{(70 - 20)} \cdot (1)^0 = 0,26\%$$

las pérdidas térmicas específicas reales a través de la chimenea con el quemador apagado  $\alpha_{CLF,chn,OFF,corr}$  se dan mediante  $n_{CLF,chn,OFF} = 0$  ( tabla 5.53 bomba primario esta siempre funcionando) y  $\alpha_{CLF,chn,OFF} = 0,2$  (tabla 5.52 quemador de premezcla)

$$\alpha_{CLF,chn,OFF,corr} = \alpha_{CLF,chn,OFF} \cdot \frac{(T_{CLF,gnr,med} - T_{sd})}{(T_{CLF,gnr,ens,med} - T_{sd,ens})} \cdot (\beta_{CLF,cmb,min})^{n_{CLF,chn,OFF}} = 0,2 \cdot \frac{(29,29 - 13)}{(70 - 20)} \cdot (1)^0 = 0,07\%$$

La energía auxiliar de los dispositivos antes de la cámara de combustión ( $P_{CLF,qmd,min} = 63$  W, caldera de tiro forzado tabla 5.56)

$$Q_{CLF,gen,aux,qmd,rcp,min} = P_{CLF,qmd,min} \cdot t_{CLF,ON} \cdot k_{CLF,qmd} = 63 \cdot 4.131 \cdot 0,8 = 208,2 \text{ kWh}$$

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

$$W_{CLF,gen,aux,min} = \frac{Q_{CLF,gen,aux,qmd,rcp}}{k_{CLF,qmd}} + \frac{Q_{CLF,gen,aux,bmb,rcp}}{k_{CLF,bmb}} = 208,2 + \frac{0}{0,8} = 260,25 \text{ kWh}$$

Se calcula un nuevo factor de carga  $\beta_{CLF,cmb,min}$  mediante

$$\beta_{CLF,cmb,min} = \frac{100 \cdot \frac{Q_{CLF,gen,sld} - Q_{CLF,gen,aux,bmb,rcp}}{t_{CLF,ON-OFF} \cdot \phi_{CLF,rfr}} + \alpha_{CLF,chn,OFF,corr} + \alpha_{CLF,env,corr}}{100 \cdot \frac{\phi_{CLF,cmb,min} + k_{CLF,qmd} \cdot P_{CLF,qmd,min}}{\phi_{CLF,rfr}} - \frac{\phi_{CLF,cmb,min}}{\phi_{CLF,rfr}} \cdot \alpha_{CLF,chn,ON,corr} + \alpha_{CLF,chn,OFF,corr}}$$

$$\beta_{CLF,cmb,min} = \frac{100 \cdot \frac{12.660 - 0}{4.131 \cdot 20} + 0,07 + 0,26}{100 \cdot \frac{5 + 0,8 \cdot 63 \cdot 0,001}{20} - \frac{5}{20} \cdot (-2,43) + 0,07} = 0,603$$

Se vuelve a realizar el cálculo con  $\beta_{CLF,cmb,min} = 0,603$  y se comprueba que converge a  $\beta_{CLF,cmb,min} = 0,603$ , 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:

$$E_{CLF,gen,ent} = \phi_{CLF,cmb,min} \cdot t_{CLF,ON-OFF} \cdot \beta_{CLF,cmb} = 5 \cdot 4.131 \cdot 0,603 = 12.446 \text{ kWh}$$

Se calculan las pérdidas térmicas totales mediante:

$$Q_{CLF,gen,prd,no\ rcp} = E_{CLF,gen,ent} - Q_{CLF,gen,sld} + Q_{CLF,gen,aux,qmd,rcp} + Q_{CLF,gen,aux,bmb,rcp}$$

$$Q_{CLF,gen,prd,no\ rcp} = 12.446 - 12.660 + 208,2 + 0 = -6,27\ kWh$$

Se procede a exponer los cálculos realizándolos de forma mensual:

**Tabla 19.10:** Ejemplo de cálculo, datos del subsistema de generación método cíclico de la caldera.

MES	T <sub>hum,min</sub>	T <sub>air</sub>	α <sub>chm,ON,min,cnd</sub>	α <sub>env,corr</sub>	α <sub>chm,OFF,corr</sub>	Q <sub>gen,aux,qmd,rcp</sub>	W <sub>gen,aux</sub>	β <sub>cmb,min</sub>	E <sub>gen,ent</sub>	Q <sub>gen,prd,no rcp</sub>
	°C	°C	%	%	%	kWh	kWh	-	kWh	kWh
ENERO	36,73	3	4,18	0,13	0,13	26,5608	33,201	1,04	2729	-23,14
FEBRERO	35,38	3	4,06	0,12	0,12	23,9904	29,988	0,88	2099	-15,32
MARZO	32,48	4	3,77	0,10	0,10	26,5608	33,201	0,58	1520	-0,06
ABRIL	30,53	5	3,55	0,08	0,08	25,704	32,13	0,39	1001	12,87
MAYO	25,00	7	2,47	0,05	0,05	26,5608	33,201	0,02	53	49,85
JUNIO										
JULIO										
AGOSTO										
SEPTIEMBRE										
OCTUBRE	27,86	7	3,18	0,07	0,07	26,5608	33,201	0,18	463	33,01
NOVIEMBRE	34,02	4	3,93	0,11	0,11	25,704	32,13	0,73	1873	-10,07
DICIEMBRE	36,76	3	3,97	0,13	0,13	26,5608	33,201	1,04	2732	-28,96
TOTAL						208	260		12.470	18
kWh/m <sup>2</sup>						1,30	1,63		77,94	0,11

La eficiencia energética del subsistema de generación es (ecuación 4-3):

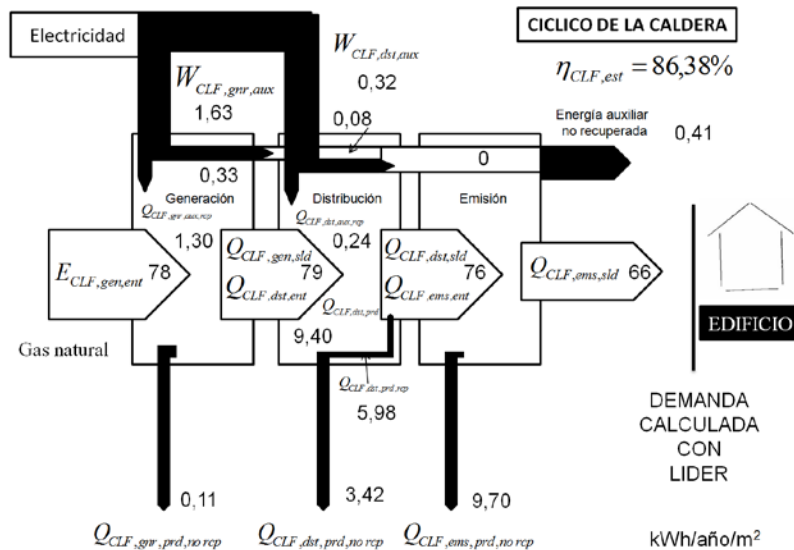
$$\eta_{CLF,gen} = \frac{Q_{CLF,gen,sld}}{f_y \cdot Q_{CLF,gen,ent} + f_z \cdot W_{CLF,gen,aux}} = \frac{12.660}{1,01 \cdot 12.470 + 2,6 \cdot 260} = 95,39\%$$

La eficiencia energética del servicio de calefacción es entonces:

$$\eta_{CLF,est} = \frac{Q_{CLF}}{f_y \cdot E_{CLF,ent} + f_z \cdot W_{CLF,aux}} = \frac{10.617}{1,01 \cdot 12.470 + 2,6 \cdot (0 + 50 + 260)} = 79,21\%$$

Con las siguientes eficiencias parciales

$$\eta_{CLF,gen} = 95,39 \quad \eta_{CLF,dst} = 94,20 \quad \eta_{CLF,ems} = 86,38$$



**Imagen 19.3:** Rendimiento estacional total por el método cíclico de caldera (kWh/año/m<sup>2</sup>).

## 19.2. 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 dentro de las viviendas de gas natural. Su potencia eléctrica nominal es de 10 kW (rendimiento nominal 94 %). La temperatura de agua de red es de 13°C (según norma UNE 94002/95, 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 por vivienda lo que supone tres ocupantes por vivienda. Según el CTE DB HE-4 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. Por tanto

$$Q_{ACS} = V \cdot C_{e_{ag}} \cdot (T_{rfr} - T_{red}) = 30 \cdot 3 \cdot 4,18 \cdot (60 - 13) / 3.600 = 4,9 \text{ kWh/día} \cdot \text{vivienda}$$

Para el subsistema de distribución de agua caliente sanitaria puede utilizarse la energía auxiliar para el calentamiento de tuberías o para las bombas, y el consumo total de energía auxiliar se determina mediante

$$W_{ACS,dst,aux} = W_{ACS,dst,aux,bmb} + W_{ACS,dst,aux,tub-trc}$$

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.

Por completar el ejercicio se analizan las pérdidas térmicas de los tubos de distribución individuales por todos los métodos propuestos en el punto 6.1.2.1

En el caso de utilizar la ecuación 6-20 (primer método propuesto en el apartado) 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  $T_{ACS,alr,med} = T_{int}$ ;  $f_{ACS,lc} = 0$  tabla 6.3)

$$Q_{dst,prd,ind,i} = \frac{\rho_{ag} \cdot C_{e_{ag}} \cdot V_{ag,tub,i} + C_{e_{tub}} \cdot m_{tub,i}}{3.600} \cdot (T_{ag,mmn,i} - T_{ACS,alr,med,i}) \cdot n_{ext,i}$$

En el segundo método propuesto (ecuación 6-26) es necesario conocer las longitudes de las tuberías. Para ello se utiliza la fórmula propuesta en la tabla 6.4

$$L_{wc} = 6 \times (A/80) = 6 \times (80/80) = 6 \text{ m}$$

$$L_{ccn} = 1 \times (A/80) = 1 \times (80/80) = 1 \text{ m}$$

Según la tabla 6.5  $\eta_{tub,ccn} = 1$  y  $\eta_{wc} = 0,9$  y por tanto

$$\eta_{ACS,tub} = \frac{1}{\left( \frac{f_{ccn}}{\eta_{tub,ccn}} + \frac{f_{wc}}{\eta_{tub,wc}} \right)} = \frac{1}{\left( \frac{0,2}{1} + \frac{0,8}{0,9} \right)} = 0,92$$

La pérdida térmica total diaria de los tubos de suministro de agua caliente sanitaria es por tanto:

$$Q_{ACS,dst,prd,ind} = Q_{ACS} \cdot \frac{1 - \eta_{ACS,tub}}{\eta_{ACS,tub}} = 4,9 \cdot \frac{1 - 0,92}{0,92} = 0,43 \text{ kWh/día vivienda}$$

Por tanto durante todo el año  $Q_{ACS,dst,prd,ind,anl} = 0,43 \cdot 365 = 156$  kWh/vivienda (para las dos viviendas es  $Q_{ACS,dst,prd,ind,anl} = 156 \cdot 2 = 312$  kWh).

Una tercera forma está basada en las longitudes de los tubos y en los perfiles de extracción. La pérdida térmica diaria  $Q_{ACS,dst,prd,ind}$  se expresa mediante

$$Q_{ACS,dst,prd,ind} = Q_{ACS} \cdot \alpha_{ACS,dst}$$

Como  $Q_{ACS} = 5$  kWh/día  $<$   $Q_{ACS,2} = 5,84$  kWh/día  $\alpha_{dst}$  se obtiene mediante (ecuación 6-33) y  $L_{ACS,tub,no\ clf} = 0$  m:

$$\alpha_{ACS,dst,2} = 0,10 + 0,005 \cdot (L_{ACS,tub,clf} - 6) + 0,008 \cdot L_{ACS,tub,no\ clf} = 0,10 + 0,005 \cdot ((6+1) - 6) + 0,008 \cdot 0 = 0,105$$

$$\alpha_{ACS,dst} = \alpha_{ACS,dst,2} - 0,01 \cdot \frac{Q_{ACS,2} - Q_{ACS}}{Q_{ACS,2} - Q_{ACS,1}} = 0,105 - 0,01 \cdot \frac{5,84 - 5}{5,84 - 2,1} = 0,09$$

y por tanto:

$$Q_{ACS,dst,prd,ind} = Q_{ACS} \cdot \alpha_{ACS,dst} = 5 \cdot 0,09 = 0,43 \text{ kWh/día vivienda}$$

Por tanto durante todo el año  $Q_{ACS,dst,prd,ind,anl} = 0,43 \cdot 365 = 156$  kWh (para las dos viviendas es  $Q_{ACS,dst,prd,ind,anl} = 156 \cdot 2 = 312$  kWh).

Como se puede comprobar es igual al caso anterior.

Podría realizarse también el cálculo de una cuarta forma (ecuación 6-35) basada en la longitud de los tubos y en la temperatura media.

$$Q_{dst,prd,rcr,ON} = \sum_i \frac{1}{1.000} \cdot \psi_{ACS,tub} \cdot L_{ACS,tub} \cdot (T_{ACS,ag,med} - T_{ACS,alr,med}) \cdot t_{ACS}$$

Los valores de  $\psi_{ACS,tub}$  se pueden obtener de la tabla 5.32 si no se obtienen más datos ( $\psi_{ACS,tub} = 0,3$  W/mK), la  $T_{ACS,ag,med} = 32$  °C, la  $T_{ACS,alr,med} = 20$  °C (tubos discurren por el interior) y sería difícil de conocer el  $t_{ACS}$ .

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:

$$Q_{ACS,dst,prd,rcb,CLF} = Q_{ACS,dst,ord} \cdot f_{ACS,dst,prd,rcb,CLF} + W_{ACS,dst,aux} \cdot f_{ACS,dst,aux,rcb,CLF}$$

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

$$Q_{ACS,dst,ent} = Q_{ACS} + Q_{ACS,dst,prd} = 4,9 \cdot 365 + 0,43 \cdot 365 = 1.981 \text{ kWh (5,43 kWh/día)}$$

$$\eta_{ACS,dst} = \frac{Q_{ACS}}{f_y \cdot E_{ACS,ent} + f_z \cdot W_{ACS,aux}} = \frac{1.825}{1,01 \cdot 1981 + 0} = 91,21\%$$

## GENERACION

El consumo total de energía auxiliar en el subsistema de generación de agua caliente sanitaria  $W_{ACS,gen,aux}$  se indica mediante:

$$W_{ACS,gen,aux} = W_{ACS,gen,bmb} + W_{ACS,gen,dsp}$$

El  $W_{ACS,gen,bmb} = 0$  y  $P_{ACS,gen,nmn} = 7 \text{ W}$

$$W_{ACS,gen,aux} = \frac{t_{ACS,bmb} \cdot P_{ACS,gen,nmn}}{1.000} = \frac{24 \cdot 7}{1.000} = 0,17 \text{ kWh/día}$$

Por tanto el consumo total por vivienda es un año  $W_{ACS,gen,aux,ani} = 0,17 \cdot 365 = 62,05 \text{ kWh}$

Se procede ahora al cálculo de las pérdidas térmicas. Se trata de un calentamiento directo de viviendas unifamiliares. Como  $Q_{ACS,gen,sld} = 5,43 \text{ kWh/día}$  es menor que  $Q_2 = 5,84 \text{ kWh/día}$  se aplica la fórmula 6-47.

$$\eta_{ACS,gen} = \eta_{ACS,2} - 0,0742 \cdot (\eta_{ACS,2} - \eta_{ACS,1}) \cdot (21,042 - Q_{ACS,gen,sld})$$

El rendimiento  $\eta_{ACS,1}$  y  $\eta_{ACS,2}$  los tiene que suministrar el fabricante para los programas de extracciones uno y dos  $\eta_{ACS,1} = 90\%$  y  $\eta_{ACS,2} = 92\%$

$$\eta_{ACS,gen} = 92 - 0,0742 \cdot (92 - 90) \cdot (21,042 - 5,43) = 89,65\%$$

Y por tanto  $Q_{ACS,gen,ent} = Q_{ACS,gen,sld} / \eta_{ACS,gen} = 100 \cdot 5,43 / 89,65 = 5,83 \text{ kWh/día}$ . Por tanto todo un año hacen un total de  $E_{ACS,ent,ani} = 365 \cdot 5,83 = 2.127 \text{ kWh anuales por vivienda}$ .

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:

$$Q_{ACS,dst,prd,rcb,CLF} = Q_{ACS,dst,ord} \cdot f_{ACS,dst,prd,rcb,CLF} + W_{ACS,dst,aux} \cdot f_{ACS,dst,aux,rcb,CLF}$$

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

$$Q_{ACS,gen,aux,rcp} = k_{ACS,gen,aux,rcp} \cdot W_{ACS,gen,aux} = 0,8 \cdot 62 = 49,6 \text{ kWh}$$

Eso quiere decir que las pérdidas térmicas del calentador son de:  $2.127 - 1.981 + 49,6 = 96,4 \text{ kWh}$ , es decir  $0,26 \text{ kWh/día}$ .

El rendimiento total del servicio de ACS es por tanto de

$$\eta_{ACS} = \frac{Q_{ACS}}{f_y \cdot E_{ACS,ent} + f_z \cdot W_{ACS,gen,aux}} = \frac{1.825}{1,01 \cdot 2.127 + 2,6 \cdot 62} = 79,02\%$$

### 19.3. 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 19.11 enumera los valores mensuales de la temperatura media del aire exterior, la irradiancia solar y la irradiación en el plano del captador en la zona de ubicación de las viviendas.

**Tabla 19.11:** Condiciones exteriores para el servicio de ACS.

MES	$I_{slr,ent}$	$E_{slr,ent}$	$T_{ext,med}$
	$W/m^2$	$kWh/m^2$	$^{\circ}C$
enero	40	0,96	6
febrero	65	1,56	7
marzo	126	3,02	10
abril	167	4,01	12
mayo	193	4,63	16
junio	209	5,02	31
julio	187	4,49	37
agosto	206	4,94	36
septiembre	139	3,34	31
octubre	94	2,26	15
noviembre	51	1,22	9
diciembre	33	0,79	6

Las características del captador solar se establecieron de acuerdo con la Norma EN 12975-2. El captador tiene una superficie de  $A_{cpt} = 2,702 m^2$ , un factor de rendimiento óptico del captador de  $\eta_{opt} = 0,8026$ , un coeficiente de pérdida de calor de primer orden de  $a_1 = 3,723 W/(m^2K)$  y un coeficiente de pérdida de calor de segundo orden de  $a_2 = 0,0135 W/(m^2K^2)$ .

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  $V_{acm,sr} = 120 l$ .

El depósito de acumulación solar y la bomba se localizan en la primera planta, que es una parte calefactada de la casa.

Los tubos entre el depósito de acumulación solar y el calentador de apoyo están aislados.

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,  $5+0,43 = 5,43 kWh/día$ .

De acuerdo con el apartado 6.3.2, 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  $Q_{ACS,sr,abs,mns} = (5,43)*31=168 kWh$

La tabla enumera el calor mensual absorbido para agua caliente sanitaria para todos los meses.

**Tabla 19.12:** Demanda energética de cálculo para el servicio de ACS.

Mes	Días	$Q_{ACS,slr,dmd,mns}$
		kWh
<b>Enero</b>	31	168
<b>Febrero</b>	28	152
<b>Marzo</b>	31	168
<b>Abril</b>	30	163
<b>Mayo</b>	31	168
<b>Junio</b>	30	163
<b>Julio</b>	31	168
<b>Agosto</b>	31	168
<b>Septiembre</b>	30	163
<b>Octubre</b>	31	168
<b>Noviembre</b>	30	163
<b>Diciembre</b>	31	168
<b>TOTAL</b>		1.982

Se dispone ahora a determinar los factores X e Y 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 debería calcular el factor de corrección del volumen del depósito de acumulación ecuación 7-11:

$$f_{slr,dps} = \left( \frac{V_{slr,rfr}}{V_{acm,slr}} \right)^{0,25} = \left( \frac{75 \cdot A_{cpt}}{V_{acm,slr}} \right)^{0,25} = \left( \frac{75 \cdot 2,702}{120} \right)^{0,25} = 1,14$$

$$U_{tbs} = 5 + 0,5 \cdot A_{cpt} = 6,35$$

El factor de eficiencia del circuito de captación no se conoce y se toma  $\eta_{cpt} = 0,9$  ( ver ecuación 7-8).

Como no se conocen las características del circuito de captación,  $U_{tbs}$  se determina de acuerdo con la ecuación 7-12

$$U_{tbs,cpt} = 5 + 0,5 \cdot A_{cpt} = 6,25 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$

El coeficiente de la pérdida de calor total de los tubos del circuito de captación tampoco se conoce y se calcula según la ecuación 7-6

$$U_{cpt} = a_1 + a_2 \cdot 40 + \frac{U_{tbs,cpt}}{A_{cpt}} = 6,61 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$

Para el cálculo del  $\Delta T_{slr,rfr}$  se necesita calcular la temperatura de referencia

$$\Delta T_{slr,rfr} = T_{slr,rfr} - T_{ext,med}$$

$$T_{slr,rfr} = 11,6 + 11,8 \cdot T_{slr,ACS} + 3,86 \cdot T_{red} - 1,32 \cdot T_{ext,med}$$

$T_{slr,ACS}$  temperatura de ACS que se establece en 40 °C,  $T_{red}$  temperatura de red (°C) (idéntica para cada mes es de 13°C).

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 -14,15 kWh y en diciembre de -22,36 kWh por lo que estos valores se toman como cero.

La potencia anual de la instalación es de 985 kWh.

**Tabla 19.13:** Energía entregada por el sol.

TOTAL	$Q_{ACS,slr,abs,mns}$	$T_{rfr}$	X	Y	$Q_{ACS,slr,sld,mns}$
	kWh	°C			kWh
<b>Enero</b>	182	100,9	7,67	0,32	0
<b>Febrero</b>	164	99,2	7,43	0,53	14
<b>Marzo</b>	182	95,8	6,96	1,02	76
<b>Abril</b>	176	92,9	6,55	1,35	106
<b>Mayo</b>	182	87,8	5,81	1,57	131
<b>Junio</b>	176	68,1	3,00	1,69	157
<b>Julio</b>	182	60,8	1,97	1,52	160
<b>Agosto</b>	182	61,7	2,09	1,67	170
<b>Septiembre</b>	176	68,5	3,06	1,13	114
<b>Octubre</b>	182	89,5	6,06	0,76	55
<b>Noviembre</b>	176	96,6	7,06	0,41	3
<b>Diciembre</b>	182	100,5	7,63	0,27	0
TOTAL	1.982	985/1.982 = 50 %			985

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 anterior.

Los valores para el consumo de la energía auxiliar se enumeran en la tabla. El total anual es de 40 kWh.

**Tabla 19.14:** Consumo de energía auxiliar para el servicio de ACS.

MES	$I_{slr,ent}$	$W_{slr,aux,mns}$
	W/m <sup>2</sup>	kWh
<b>Enero</b>	40	1,1
<b>Febrero</b>	65	1,7
<b>Marzo</b>	126	3,3
<b>Abril</b>	167	4,4
<b>Mayo</b>	193	5,1
<b>Junio</b>	209	5,5
<b>Julio</b>	187	5,0
<b>Agosto</b>	206	5,5
<b>Septiembre</b>	139	3,7
<b>Octubre</b>	94	2,5
<b>Noviembre</b>	51	1,4
<b>Diciembre</b>	33	0,9
<b>TOTAL</b>		40

Por último se calcula el coeficiente global de pérdidas de calor no se ha medido, de ahí que su valor se calcule utilizando la ecuación 7-23:



$$U_{slr,dps} = 0,16 \cdot (V_{slr,dps})^{0,5} = 0,16 \cdot (120)^{0,5} = 1,75 \text{ W / K}$$

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 recoge los resultados. La pérdida de calor anual del depósito de acumulación es de 305kWh.

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 20 kWh.

**Tabla 19.15:** Pérdidas térmicas del servicio de ACS.

MES	$Q_{ACS,slr,dps,prd,mns}$	$Q_{apy,dst,prd,mns}$	$Q_{ACS,ent}$	$Q_{ACS,slr,ent}$
	kWh	kWh	kWh	kWh
<b>Enero</b>	0,00	0,00	180,73	180,73
<b>Febrero</b>	4,42	0,29	163,24	153,68
<b>Marzo</b>	23,64	1,53	180,73	129,60
<b>Abril</b>	32,77	2,12	174,9	104,03
<b>Mayo</b>	40,46	2,61	180,73	93,23
<b>Junio</b>	48,76	3,15	174,9	69,46
<b>Julio</b>	49,61	3,20	180,73	73,43
<b>Agosto</b>	52,54	3,39	180,73	67,11
<b>Septiembre</b>	35,19	2,27	174,9	98,79
<b>Octubre</b>	16,90	1,09	180,73	144,19
<b>Noviembre</b>	0,80	0,05	174,9	173,17
<b>Diciembre</b>	0,00	0,00	180,73	180,73
<b>TOTAL</b>	<b>305</b>	<b>20</b>	<b>2.127</b>	<b>1.468</b>

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.
- 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.

La tabla enumera las pérdidas recuperables. Las pérdidas recuperables anuales son de 137 kWh que tendrían que ser descontadas en el servicio de calefacción.

**Tabla 19.16:** Pérdidas térmicas recuperables para el servicio de CALEFACCION.

MES	$Q_{slr,aux,rcb,mns}$	$Q_{ACS,slr,dps,prd,rcb,mns}$	$Q_{apy,dst,prd,rcb,mns}$	$Q_{slr,prd,rcb,mns}$
	<b>kWh</b>	<b>kWh</b>	<b>kWh</b>	<b>kWh</b>
<b>Enero</b>	0,53	0,00	0,00	0,53
<b>Febrero</b>	0,86	4,42	0,29	5,57
<b>Marzo</b>	1,67	23,64	1,53	26,84
<b>Abril</b>	2,21	32,77	2,12	37,10
<b>Mayo</b>	2,56	40,46	2,61	45,63
<b>Junio</b>	2,77	48,76	3,15	NO INVIERNO
<b>Julio</b>	2,48	49,61	3,20	
<b>Agosto</b>	2,73	52,54	3,39	
<b>Septiembre</b>	1,84	35,19	2,27	
<b>Octubre</b>	1,25	16,90	1,09	
<b>Noviembre</b>	0,68	0,80	0,05	1,53
<b>Diciembre</b>	0,44	0,00	0,00	0,44
<b>TOTAL</b>				<b>137</b>

## 20. Anexo VIII. Edificios reales analizados

Se describen a continuación los dos edificios existentes de viviendas sobre los que se han desarrollado los estudios de esta tesis doctoral.

### 20.1. Bermeo

El primero de los dos edificios de viviendas se trata de una construcción de dos bloques de viviendas de reciente construcción. Se detallan a continuación las partes de su envolvente térmica y sus instalaciones térmicas.

#### 20.1.1. Envolvente térmica y situación

Las viviendas se encuentran en Bermeo (8 metros de altura sobre el nivel del mar), un municipio de la comarca de Busturialdea, en la provincia de Vizcaya (su capital es Bilbao, 214 metros de altura sobre el nivel del mar), en la Comunidad Autónoma del País Vasco, en España.



**Imagen 20.1:** Localización geográfica de Bermeo

Se trata de 55 viviendas distribuidas en dos bloques:



**Imagen 20.2:** Perspectiva de los dos edificios de Bermeo

La composición de los cerramientos es la siguiente:

**Tabla 20.1:** Composición de la envolvente térmica viviendas Bermeo. Cerramientos opacos

Nombre	Área (m <sup>2</sup> )	kg/m <sup>2</sup>	Material	Espesor(m)
Cubierta invertida	1.133	462	Roca natural porosa [por ejem. Lava] d < 1.600	0,065
			EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]]	0,045
			Subcapa lana	0,015
			FU Entrevigado de hormigón aligerado d< 1.200	0,25
			Arcilla Expandida [árido suelto]	0,09
Forjado	-	387	Enlucido de yeso 1.000 < d < 1.300	0,015
			Plaqueta o baldosa cerámica	0,02
			Arcilla Expandida [árido suelto]	0,01
			Mortero de cemento o cal para albañilería y para	0,03
			Corcho Expandido puro 100 < d < 150	0,03
			FU Entrevigado de hormigón aligerado -Canto 25	0,25
Forjado garajes	-	344	Enlucido de yeso 1.000 < d < 1.300	0,015
			Arcilla Expandida [árido suelto]	0,04
			Linóleo	0,012
			FU Entrevigado de hormigón aligerado -Canto 25	0,25
Solera	1.340	152	Mortero de cemento o cal para albañilería y para	0,015
			Hormigón convencional d 1700	0,015
			PUR Plancha con HFC o Pentano y rev. imperm	0,005
			Arena y grava [1.700 < d < 2.200]	0,07
			PUR Plancha con HFC o Pentano y rev. imperm	0,005
Forjado Viv-gar	1.133	433	Hormigón convencional d 1700	0,015
			Plaqueta o baldosa cerámica	0,02
			Mortero de cemento o cal para albañilería y para	0,03
			Corcho Expandido puro 100 < d < 150	0,04
			FU Entrevigado de hormigón aligerado -Canto 35	0,35
Tabique	-	74	Enlucido de yeso 1.000 < d < 1.300	0,015
			Tabique de LH sencillo [40 mm < Espesor < 60	0,04
			Enlucido de yeso 1.000 < d < 1300	0,015
Fachada N, E y O	969 (N)	202	1/2 pie LP métrico o catalán 40 mm< G < 60 mm	0,115
	305 (E)		Mortero de cemento o cal para albañilería y para	0,01
	305 (O)		Corcho Expandido puro 100 < d < 150	0,03
			Cámara de aire sin ventilar vertical 5 cm	0
			Placas de yeso armado con fibras minerales 800	0,065
Fachada terreno	-	908	Mortero de áridos ligeros [vermiculita perlita]	0,015
			Mortero de cemento o cal para albañilería y para	0,085
			Yeso, dureza media 600 < d < 900	0,001
			Hormigón armado 2.300 < d < 2.500	0,3
			Acero	0,01
			Polietileno alta densidad [HDPE]	0,01
			Polipropileno 25% fibra vidrio	0,01
Fachada S	691	228	1/2 pie LP métrico o catalán 40 mm< G < 60 mm	0,115
			Mortero de cemento o cal para albañilería y para	0,01
			Corcho Expandido puro 100 < d < 150	0,03
			Cámara de aire sin ventilar vertical 5 cm	0
			Placas de yeso armado con fibras minerales 800	0,065
Cubierta enterrada	-	1042	<b>Fronrosa de peso medio</b> 565 < d < 750	0,04
			Acero	0,06
			Arena y grava [1.700 < d < 2.200]	0,1
			Linóleo	0,034
			Arcilla Expandida [árido suelto]	0,025
			FU Entrevigado de hormigón aligerado -Canto 35	0,35
			Mortero de áridos ligeros [vermiculita perlita]	0,015

:- Superficie de cerramiento que no pertenece a la envolvente térmica.

**Tabla 20.2:** Composición envolvente térmica viviendas Bermeo. Cerramientos semitransparentes

VIDRIO		MARCO	
Nombre	U (W/m <sup>2</sup> K)	Nombre	U (W/m <sup>2</sup> K)
VER_DC_4-20-441a	2,7	VER_Madera de densidad media alta	2,2
	<b>Factor solar g<sub>±</sub></b>		<b>Absortividad (α)</b>
	0,75		0,7
<b>HUECOS=VIDRIO+MARCO</b>			
<b>% Hueco</b>		10	
<b>Permeabilidad m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup> a 100Pa</b>		27	
<b>U (W/m<sup>2</sup>K)</b>		2,65	
<b>Factor solar F<sub>H</sub></b>		0,68	
<b>Área (m<sup>2</sup>) al NORTE(80+50)</b>		156	
<b>Área (m<sup>2</sup>) al SUR(80+60)</b>		434	
Consultar DTIE 7.03 [20.4]			

Todos los huecos al sur están protegidos con un voladizo que reduce su factor solar (saliente de 0,9 m).

Como ya se citó (capítulo 8) para construir la envolvente de los edificios acorde a la actual legislación se debe cumplimentar la sección 1, Limitación de la Demanda Energética, del Documento Básico de Ahorro de Energía del Código Técnico de la Edificación. Esta sección (en la fase de proyecto) propone uno de los dos procedimientos alternativos de comprobación siguientes:

- Opción simplificada, basada en el *control indirecto* de la demanda energética de los edificios mediante la limitación de los parámetros característicos de los cerramientos y particiones interiores que componen su envolvente térmica. La comprobación se realiza a través de la comparación de los valores obtenidos en el cálculo con los valores límites permitidos.
- Opción general, basada en la evaluación de la demanda energética de los edificios mediante la comparación de ésta con la correspondiente a un edificio de referencia que define la propia opción.

En ambas opciones se limita la presencia de condensaciones en la superficie y en el interior de los cerramientos y se limitan las pérdidas energéticas debidas a las infiltraciones de aire, para unas condiciones normales de utilización de los edificios.

Este estudio sobre los edificios ya se realizó en el diploma de estudios avanzados que antecede a este estudio doctoral [20.1].

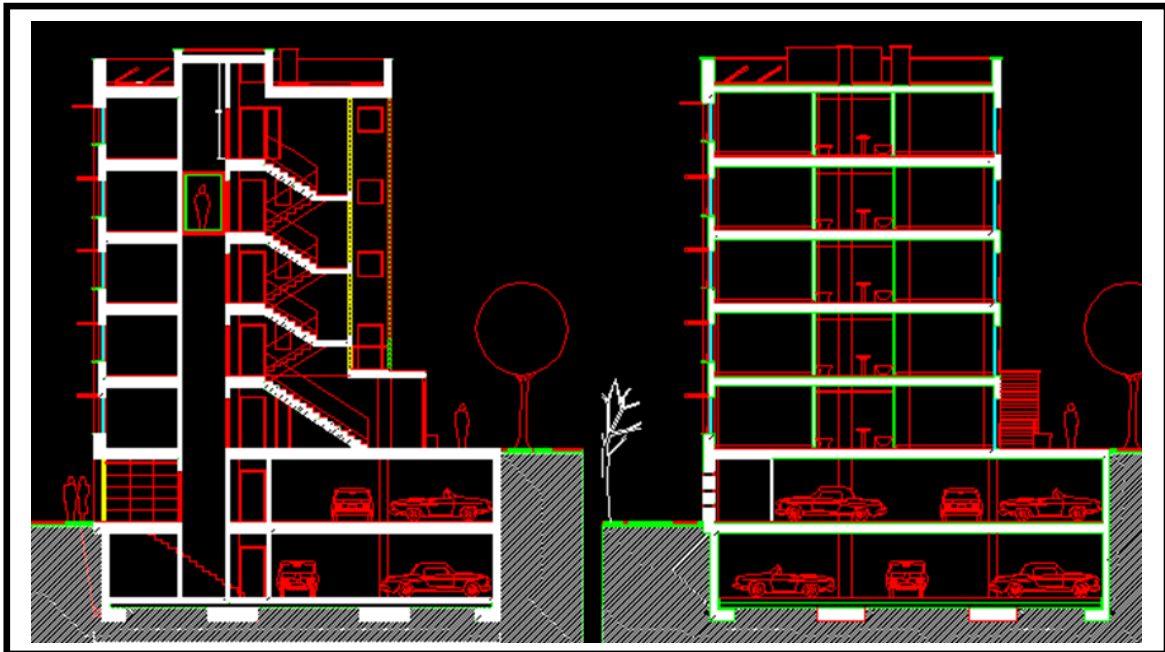
Para dar cumplimiento a la vía simplificada durante este trabajo se desarrolló una herramienta informática, a la que se decide llamar DEHOX (*Demanda Energética cumplimentada a través de una hoja Excel*), que agiliza la comprobación de esta opción.

Haciendo uso de DEHOX se obtienen las siguientes tablas.

**Tabla 20.3:** Valores medios de los cerramientos de las viviendas de BERMEO obtenido de DEHOX

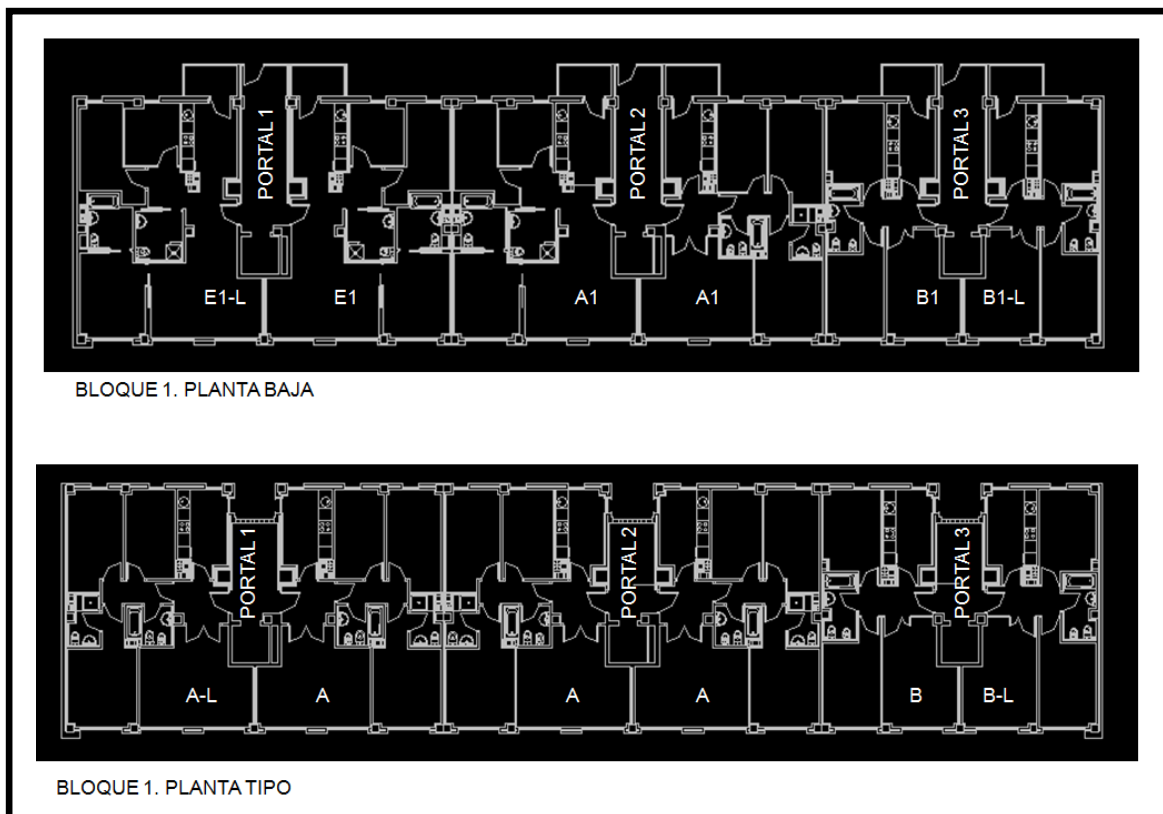
OPACOS										
ORIENTACION	NOMBRE	A (m <sup>2</sup> )	U (W/m <sup>2</sup> K)	A·U (W/K)	ΣA (m <sup>2</sup> )	ΣA·U (W/K)	UMm=ΣA·U / ΣA (W/m <sup>2</sup> K)			
N	Muro exterior 1	906	0,7	630,47	969	750,03	0,77			
	Muro contacto espacio no habitable 1	62	1,91	119						
E	Muro exterior 1	305	0,7	212	492	458,98	0,93			
	Muro contacto espacio no habitable 1	187	1,32	246						
O	Muro exterior 1	305	0,7	212	493	459,64	0,93			
	Muro contacto espacio no habitable 1	188	1,32	247						
S	Muro exterior 1	691	0,64	439	691	439,21	0,64			
SUELO	Suelo contacto espacio no habitable 1	1.133	0,55	628	1.133	628,41	0,55			
TABIQUE	Tabique A	- <sup>[1]</sup>	2,48	- <sup>[1]</sup>	- <sup>[1]</sup>	- <sup>[1]</sup>	2,48			
CUBIERTA	Cubierta exterior 1	1.133	0,39	441	1.133	441	0,39			
[1] El área real no es 100 m <sup>2</sup> , pero no es un dato relevante en las exigencias, pues en los tabiques solo se limita que estos no sobrepasen 1,2 W/m <sup>2</sup> K.										
SEMITRASPARENTES										
ORIENTACION	A (m <sup>2</sup> )	U (W/m <sup>2</sup> K)	F	A·U (W/K)	A·F	ΣA (m <sup>2</sup> )	ΣA·U (W/K)	UMm=ΣA·U / ΣA (W/m <sup>2</sup> K)	ΣA·F	FHm=ΣA·F / ΣA
NORTE	156	2,65	1	413,4		156	413,4	2,65		
SUR	434	2,65	0,04	1150,1	18,45	434	1150,1	2,65	18,45	0,04

Para realizar la introducción del edificio en LIDER es necesario conocer la geometría del edificio. Esta consta de dos bloques (el bloque 1 tiene una sección en planta mayor que el bloque 2) de edificios de cinco plantas de viviendas levantadas sobre unos garajes de dos plantas como indica en las siguientes imágenes.

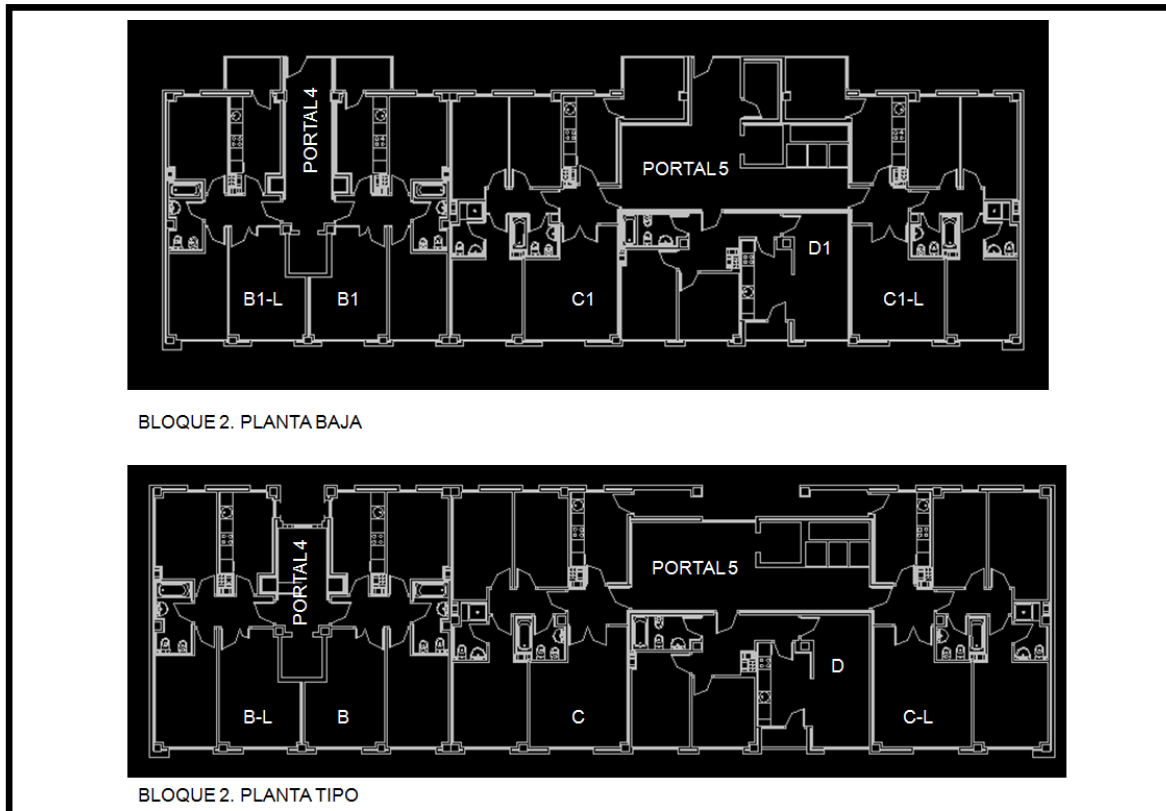


**Imagen 20.3:** Sección de viviendas bloque 1 BERMEO

La sección en planta de cada vivienda en cada uno de los dos bloques es la que sigue:



**Imagen 20.4:** Plantas tipo bloque 1 BERMEO. Sección de 50 x 10 m.



**Imagen 20.5:** Plantas tipo bloque 2 BERMEO. Sección de 40 x 9,4 m.

Se ha considerado cada vivienda como una zona acorde a la definición de sistemas que se planteará más adelante.

Se detalla a continuación el nombre que se designa en el programa LIDER con la relación citada en el proyecto de climatización de las viviendas (también se citan aprovechando la tabla la potencia calculada[20.2] e instalada en cada vivienda).

**Tabla 20.4:** Potencia instalada y calculada por zona BERMEO bloque 1

BLOQUE 1		DATOS EN W						
		PROYECTO	A-L	A	A	B	B-L	
		m <sup>2</sup>	87,77	94,1	93,45	93,74	66,32	64,52
		n° RADIADORES	9	9	9	9	6	6
<b>LIDER</b>	<b>PROYECTO</b>	<b>LIDER</b>	<b>E04</b>	<b>E01</b>	<b>E07</b>	<b>E05</b>	<b>E10</b>	<b>E08</b>
<b>P07</b>	Cuarta	Potencia instalada	5.807	5.461	5.461	5.461	3.856	4.605
		Potencia calculada	4.824	4.579	4.579	4.579	3.308	3.743
<b>LIDER</b>	<b>PROYECTO</b>	<b>LIDER</b>	<b>E04</b>	<b>E01</b>	<b>E07</b>	<b>E05</b>	<b>E10</b>	<b>E08</b>
<b>P06</b>	Tercera	Potencia instalada	5.376	5.246	5.246	5.246	3.748	3.986
		Potencia calculada	3.775	3.530	3.530	3.530	2.570	3.005
<b>LIDER</b>	<b>PROYECTO</b>	<b>LIDER</b>	<b>E04</b>	<b>E01</b>	<b>E07</b>	<b>E05</b>	<b>E10</b>	<b>E08</b>
<b>P05</b>	Segunda	Potencia instalada	5.376	5.246	5.246	5.246	3.748	3.986
		Potencia calculada	3.775	3.530	3.530	3.530	2.570	3.005
<b>LIDER</b>	<b>PROYECTO</b>	<b>LIDER</b>	<b>E04</b>	<b>E01</b>	<b>E07</b>	<b>E05</b>	<b>E10</b>	<b>E08</b>
<b>P04</b>	Primera	Potencia instalada	5.376	5.246	5.246	5.246	3.748	3.986
		Potencia calculada	3.775	3.530	3.530	3.530	2.570	3.005
<b>PLANTA BAJA</b>		<b>PROYECTO</b>	<b>E1-L</b>	<b>E1</b>	<b>A1</b>	<b>A1</b>	<b>B1</b>	<b>B1-L</b>
		m <sup>2</sup>	87,77	94,1	93,45	93,74	66,32	64,52
		n° RADIADORES	8	8	9	9	6	6
<b>LIDER</b>	<b>PROYECTO</b>	<b>LIDER</b>	<b>E05</b>	<b>E01</b>	<b>E08</b>	<b>E06</b>	<b>E11</b>	<b>E09</b>
<b>P03</b>	Baja	Potencia instalada	5.384	5.253	5.461	5.461	3.856	3.986
		Potencia calculada	4.108	3.741	3.779	3.779	2.709	3.144
<b>TOTAL</b>		Potencia instalada	<b>146.596</b>					
		Potencia calculada	<b>106.692</b>					
		n° RADIADORES	<b>(46+48*4)=238</b>					

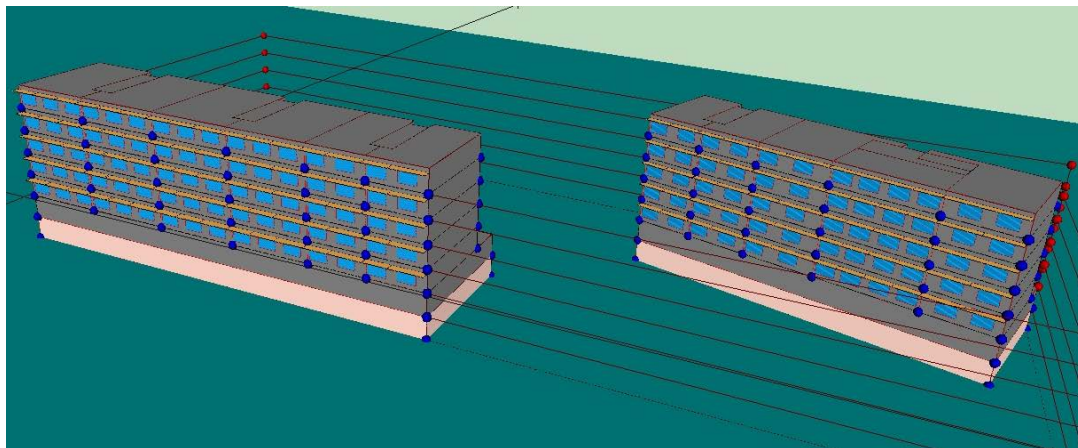
**Tabla 20.5:** Potencia instalada y calculada por zona BERMEO bloque 2

BLOQUE 2		DATOS EN W					
		PROYECTO	B-L	B	C	D	C-L
		m <sup>2</sup>	59,52	65,22	95,72	63,01	91,85
		n° RADIADORES	8	8	8	6	8
LIDER	PROYECTO	LIDER	E12	E02	E13	E14	E15
P07	Cuarta	Potencia instalada	4.605	3.856	5.246	4.083	5.564
		Potencia calculada	3.743	3.308	4.229	3.246	4.678
LIDER	PROYECTO	LIDER	E12	E02	E13	E14	E15
P06	Tercera	Potencia instalada	3.986	3.748	4.816	3.868	4.946
		Potencia calculada	3.005	2.570	3.191	2.559	3.635
LIDER	PROYECTO	LIDER	E12	E02	E13	E14	E15
P05	Segunda	Potencia instalada	3.986	3.748	4.816	3.868	4.946
		Potencia calculada	3.005	2.570	3.191	2.559	3.635
LIDER	PROYECTO	LIDER	E12	E02	E13	E14	E15
P04	Primera	Potencia instalada	3.986	3.748	4.816	3.868	4.946
		Potencia calculada	3.005	2.570	3.191	2.559	3.635
PLANTA BAJA		PROYECTO	B1-L	B1	C1	D1	C1-L
		m <sup>2</sup>	59,52	65,22	95,72	63,01	91,85
		n° RADIADORES	8	8	8	6	8
LIDER	PROYECTO	LIDER	E13	E02	E14	E15	E16
P03	Baja	Potencia instalada	3.986	3.856	4.816	4.083	5.349
		Potencia calculada	3.144	2.709	3.568	2.803	4.005
TOTAL (W)		Potencia instalada	109.536				
		Potencia calculada	80.313				
		n° RADIADORES	(38+38*4)=190				

**Tabla 20.6:** Potencias BERMEO

TOTAL (W)	Potencia instalada	256.132	
		Potencia calculada	187.005
		m <sup>2</sup>	4.377

En el programa LIDER la definición en 3D del edificio quedaría finalmente como sigue:



**Imagen 20.6:** Vista edificios en el entorno 3D del programa de referencia LIDER.

Los volúmenes y superficies habitables y no habitables del edificio por plantas son los siguientes:



**Tabla 20.7:** Superficies y volúmenes de los espacios de BERMEO

Nombre	Planta	Uso	Higrometría	A <sub>zon</sub> (m <sup>2</sup> )	h <sub>ph</sub> (m)	V <sub>zon</sub> (m <sup>3</sup> )	1 o 2
E01	P01	Nivel de estanqueidad 3	3	761,45	2,5	1903,6	1
E04				579,68		1449,2	2
E01	P02			761,45		1903,6	1
E02				579,68		1449,2	2
E01	P03	Residencial		94,1		235,3	1
E02		65,22		163,1		2	
E03		Nivel de estanqueidad 3		17,85		44,6	1
E05		Residencial		87,77		219,4	
E06		93,74		234,4			
E07		Nivel de estanqueidad 3		18,51		46,3	
E08		Residencial		93,45		233,6	
E09		64,52		161,3		2	
E10		Nivel de estanqueidad 3		17,55			43,9
E11		Residencial		66,32			165,8
E12		Nivel de estanqueidad 3		17,87			44,7
E13		Residencial		59,52			148,8
E14			95,72	239,3			
E15			63,01	157,5			
E16			91,85	229,6			
E17		Nivel de estanqueidad 3	31,01	77,5			
E18		13,22	33,1	1			
E01		P04	Residencial		94,1	235,3	
E02	65,22		163,1		2		
E03	Nivel de estanqueidad 3		17,85		44,6		
E04	Residencial		87,77		219,4		
E05	93,74		234,4				
E06	Nivel de estanqueidad 3		18,51		46,3		
E07	Residencial		93,45		233,6		
E08	64,52		161,3				
E09	Nivel de estanqueidad 3		17,55		43,9		
E10	Residencial		66,32		165,8		
E11	Nivel de estanqueidad 3		17,87		44,7		
E12	Residencial		59,52		148,8		
E13			95,72		239,3		
E14			63,01		157,5		
E15			91,85		229,6		
E16	Nivel de estanqueidad 3		31,01		77,5		
E17	13,22		33,1	2			
E01	P05	Residencial	94,1		235,3		
E02		65,22	163,1		2		
E03		Nivel de estanqueidad 3	17,85		44,6		
E04		Residencial	87,77		219,4		
E05		93,74	234,4				
E06		Nivel de estanqueidad 3	18,51		46,3		
E07		Residencial	93,45		233,6		
E08		64,52	161,3				
E09		Nivel de estanqueidad 3	17,55		43,9		
E10		Residencial	66,32		165,8		
E11		Nivel de estanqueidad 3	17,87		44,7		
E12		Residencial	59,52		148,8		
E13			95,72		239,3		
E14			63,01		157,5		
E15			91,85		229,6		
E16		Nivel de estanqueidad 3	31,01	77,5			
E17	13,22	33,1					

Nombre	Planta	Uso	Higrometría	A <sub>zon</sub> (m <sup>2</sup> )	h <sub>pln</sub> (m)	V <sub>zon</sub> (m <sup>3</sup> )	1 o 2
E01	P06	Residencial	3	94,1	2,5	235,3	1
E02				65,22		163,1	2
E03		Nivel de estanqueidad 3		17,85		44,6	1
E04		Residencial		87,77		219,4	
E05				93,74		234,4	
E06		Nivel de estanqueidad 3		18,51		46,3	
E07		Residencial		93,45		233,6	
E08				64,52		161,3	
E09		Nivel de estanqueidad 3		17,55		43,9	
E10		Residencial		66,32		165,8	
E11		Nivel de estanqueidad 3		17,87		44,7	2
E12		Residencial		59,52		148,8	
E13				95,72		239,3	
E14				63,01		157,5	
E15				91,85		229,6	
E16				31,01		77,5	
E17		Nivel de estanqueidad 3		13,22		33,1	
E01	P07	Residencial	3	94,1	2,5	235,3	1
E02				65,22		163,1	2
E03		Nivel de estanqueidad 3		17,85		44,6	1
E04		Residencial		87,77		219,4	
E05				93,74		234,4	
E06		Nivel de estanqueidad 3		18,51		46,3	
E07		Residencial		93,45		233,6	
E08				64,52		161,3	
E09		Nivel de estanqueidad 3		17,55		43,9	
E10		Residencial		66,32		165,8	
E11		Nivel de estanqueidad 3		17,87		44,7	2
E12		Residencial		59,52		148,8	
E13				95,72		239,3	
E14				63,01		157,5	
E15				91,85		229,6	
E16				31,01		77,5	
E17		Nivel de estanqueidad 3		13,22		33,1	
<b>TOTAL</b>				7.638	-	19.096	
No habitable: Garajes y zonas comunes							

**Tabla 20.8:** Superficie habitable BERMEO

SUELO HABITABLE (m <sup>2</sup> )		VOLUMEN HABITABLE (m <sup>3</sup> )	
4.377		10.940	
BLOQUE I	BLOQUE II	BLOQUE I	BLOQUE II
2.500	1.877	6.249	4.692
SUELO NO HABITABLE (m <sup>2</sup> )		VOLUMEN NO HABITABLE (m <sup>3</sup> )	
3.262		8.155	
BLOQUE I	BLOQUE II	BLOQUE I	BLOQUE II
1.792	1.470	4.481	3.675

## 20.1.2. Sistemas

Atendiendo al factor de forma de los edificios y considerando las ventajas de seguridad y rendimiento energético, el proyectista [20.2] ha seleccionado una instalación (subsistema de generación) centralizada con contadores individuales de energía y ACS.

La sala de calderas se sitúa en la planta sótano 1 del bloque 1 (planta 2 de LIDER) y el combustible seleccionado es el gas natural. Por tratarse de una instalación con servicios de calefacción y ACS proyectista [20.2] decide instalar dos calderas, conectadas hidráulicamente en paralelo y con regulación en secuencia.

Las calderas son de baja temperatura, del tipo piro-tubular a las cuales se les acoplan quemadores de sobrepresión, diseñados para gas natural, de dos marchas.



**Imagen 20.7:** Calderas de BERMEO

La instalación tiene dos colectores, uno en la impulsión y otro en el retorno, a los cuales se conectan las calderas y los diferentes servicios (calefacción y primario de ACS).



**Imagen 20.8:** Colectores de BERMEO

El subsistema de distribución de calefacción consta de dos circuitos independientes, uno para cada bloque, cada uno con sus correspondientes bombas de circulación y válvula motorizada (mezcladora) de tres vías para regulación de la temperatura de impulsión en función de las condiciones exteriores (condiciones de operación).

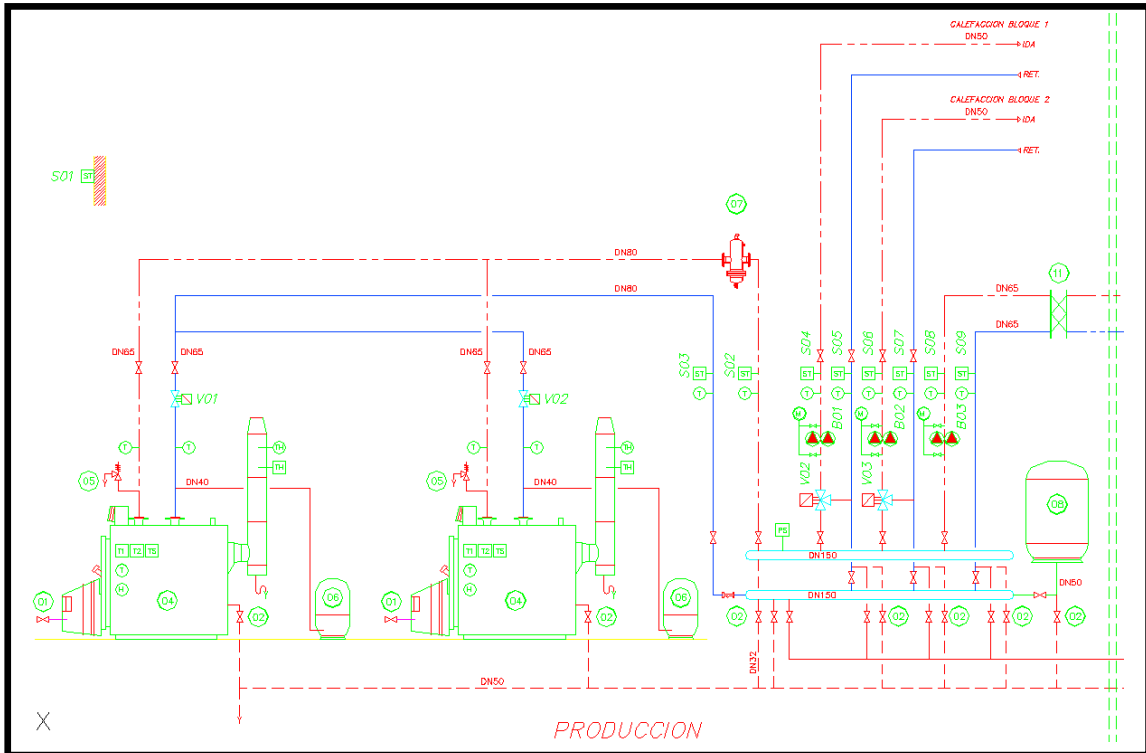


Imagen 20.9: Producción térmica BERMEO

Las tuberías generales de distribución a viviendas parten desde los colectores de la sala de calderas, discurren por el techo de los garajes del sótano 1 del bloque 1, hasta las verticales de los patinillos de instalaciones en cada portal.

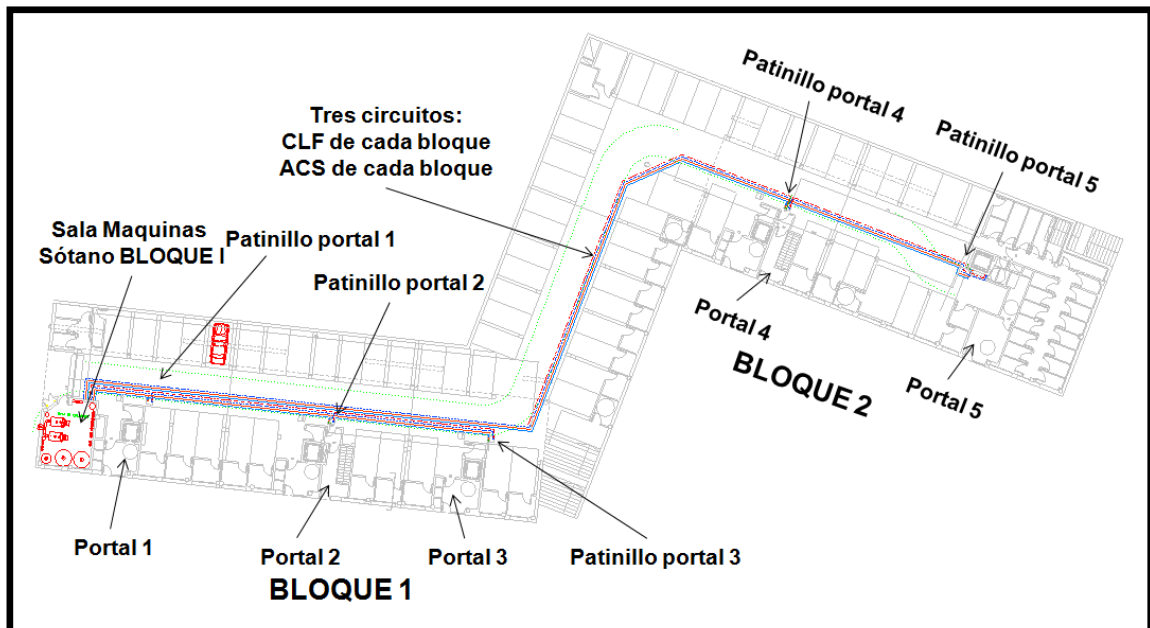
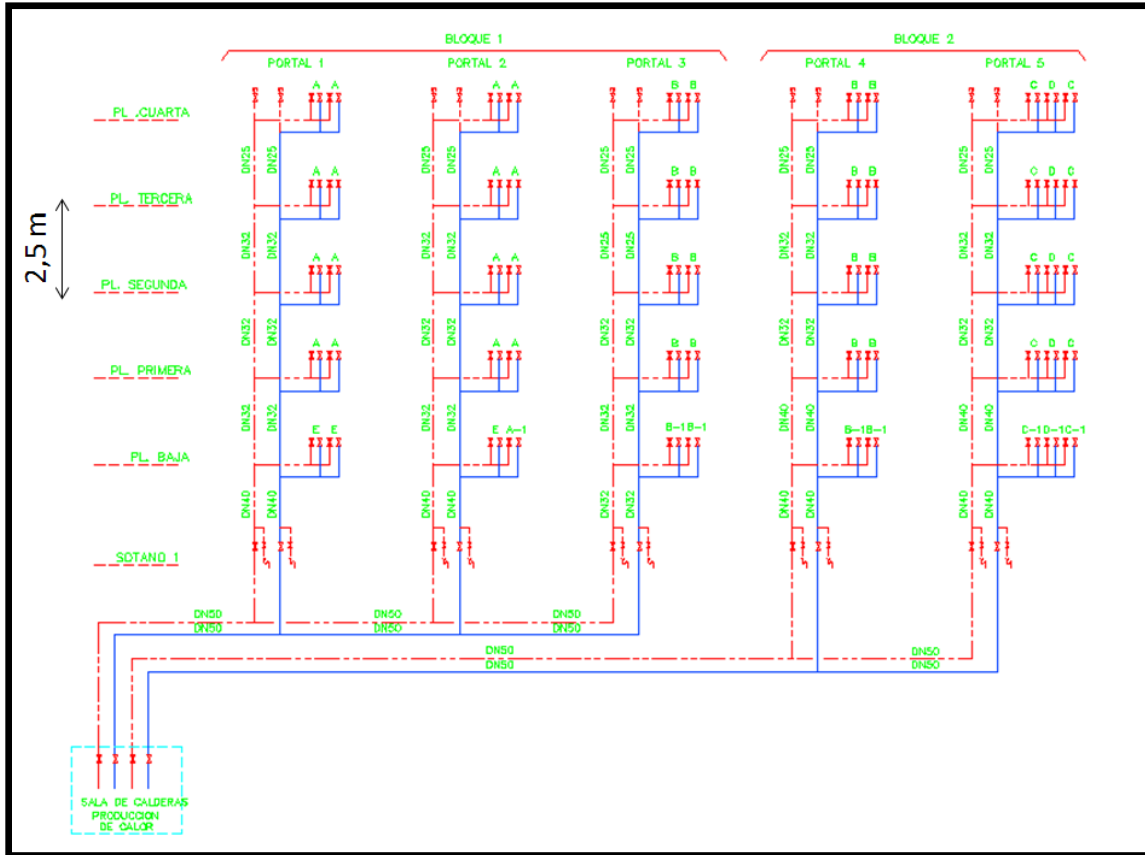


Imagen 20.10: Distribución general de tuberías

En cada planta se realizan las derivaciones a vivienda, en los patinillos se sitúan los contadores de agua fría, agua caliente y calorías para calefacción; cada vivienda dispone de las correspondientes llaves de corte, de modo que pueda anularse su servicio desde el exterior a la misma.



**Imagen 20.11:** Esquema de distribución general a plantas. Calefacción

Se muestran a continuación dos tablas resumen de las tuberías de distribución de agua caliente a cada uno de los dos bloques de viviendas, con el tipo de tubería ejecutado, valores de sus transmitancias térmicas y longitudes

**Tabla 20.9:** Longitud de tuberías de tramos generales

TRAMO	TUBERIA	LONGITUD	DN	DI	Ψ	Tipo
	DN	m	mm	mm	W/mK	CEN
<b>SALA DE CALDERAS</b>						
CALDERA	65	4	65	68,8	0,36	L <sub>gnr</sub>
TRAMO COMUN	80	10	80	80,8	0,36	
COLECTOR	150	6	150	155	0,56	
CLF B I	50	12	50	53	0,25	
CLF B II	50	12	50	53	0,25	
PRIMARIO ACS	65	12	65	68,8	0,36	
<b>RAMAL BLOQUE I y PORTAL 3</b>						
HASTA PORTAL 1	50	20	50	53	0,25	L <sub>gnr</sub>
HASTA PORTAL 2	50	30	50	53	0,25	
HASTA PORTAL 3	50	40	50	53	0,25	
HASTA P3 P BAJA	32	6	32	35,9	0,25	L <sub>edf</sub>
HASTA P3 P 1ª	32	6	32	35,9	0,25	
HASTA P3 P 2ª	32	6	32	35,9	0,25	
HASTA P3 P 3ª	25	6	25	27,2	0,33	
HASTA P3 P 4ª	25	6	25	27,2	0,33	
<b>RAMAL BLOQUE II Y PORTAL 5</b>						
HASTA PORTAL 4	50	50	50	53	0,25	L <sub>gnr</sub>
HASTA PORTAL 5	50	200	50	53	0,25	
HASTA P5 P BAJA	40	6	40	41,8	0,25	L <sub>edf</sub>
HASTA P5 P 1ª	40	6	40	41,8	0,25	
HASTA P5 P 2ª	32	6	32	35,9	0,25	
HASTA P5 P 3ª	32	6	32	35,9	0,25	
HASTA P5 P 4ª	25	6	25	27,2	0,33	
<b>PORTALES 1, 2 y 4</b>						
HASTA PLANTA BAJA	40	6	40	41,8	0,25	L <sub>edf</sub>
HASTA PLANTA 1	32	6	32	35,9	0,25	
HASTA PLANTA 2	32	6	32	35,9	0,25	
HASTA PLANTA 3	32	6	32	35,9	0,25	
HASTA PLANTA 4	25	6	25	27,2	0,33	

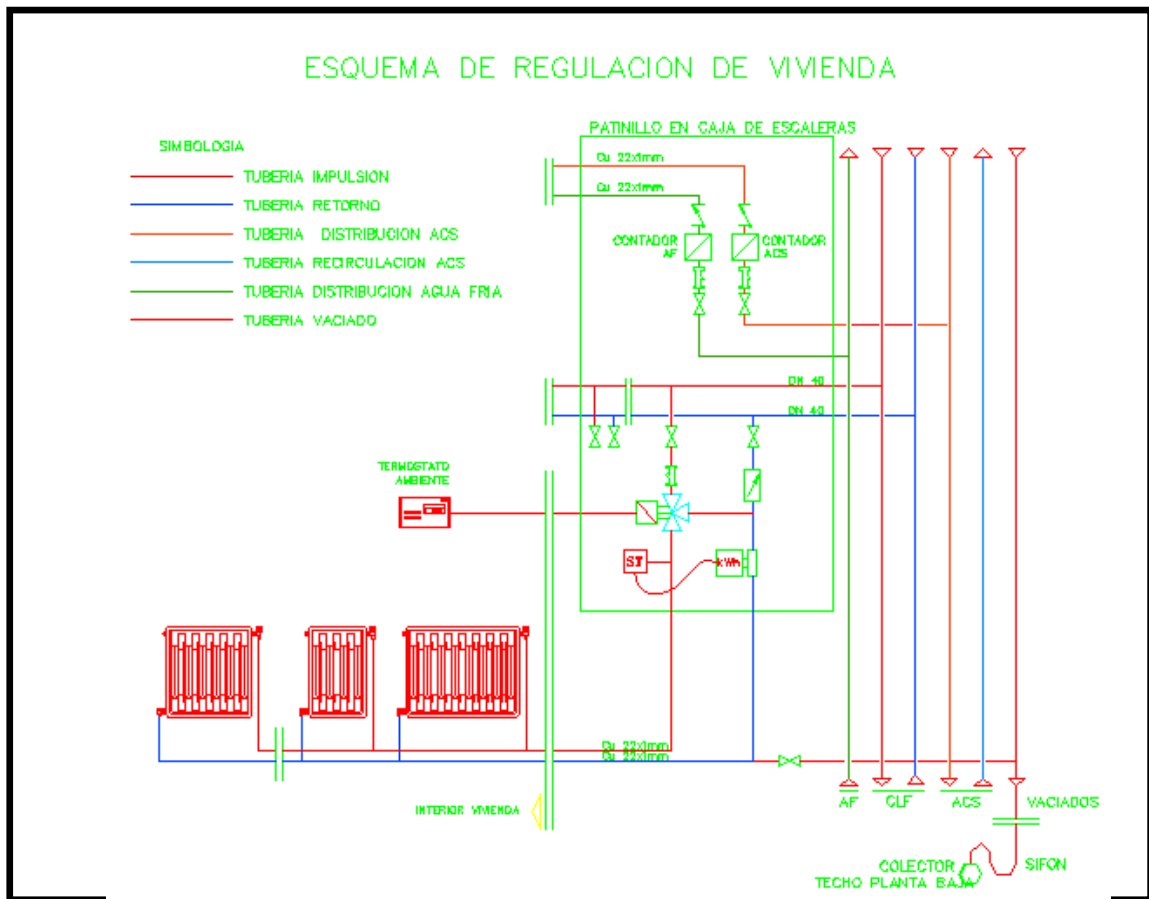
Se muestra en la siguiente tabla, los valores promedio, en función del tipo de tubería (L<sub>gnr</sub>, L<sub>edf</sub>), de la transmitancia térmica lineal Ψ en función de sus longitudes aplicando la siguiente fórmula.

$$\Psi_j = \frac{\sum \Psi_i \cdot L_i}{\sum L_i} \quad 20-1$$

**Tabla 20.10:** Longitud de tuberías de tramos generales por tipo

<b>BLOQUE I</b>			<b>BLOQUE II</b>		
<b>L<sub>CLF,gnr</sub></b>			<b>L<sub>CLF,gnr</sub></b>		
<b>DN</b>	<b>LONGITUD</b>	<b>Ψ</b>	<b>DN</b>	<b>LONGITUD</b>	<b>Ψ</b>
<b>mm</b>	<b>m</b>	<b>W/mK</b>	<b>mm</b>	<b>m</b>	<b>W/mK</b>
65	14	0,36	65	0	0,36
80	10	0,36	80	0	0,36
150	6	0,56	150	0	0,56
50	102	0,25	50	262	0,25
<b>promedio</b>	<b>132</b>	<b>0,28</b>	<b>promedio</b>	<b>262</b>	<b>0,25</b>
<b>L<sub>CLF,edf</sub> P3</b>			<b>L<sub>CLF,edf</sub> P5</b>		
<b>DN</b>	<b>LONGITUD</b>	<b>Ψ</b>	<b>DN</b>	<b>LONGITUD</b>	<b>Ψ</b>
<b>mm</b>	<b>m</b>	<b>W/mK</b>	<b>mm</b>	<b>m</b>	<b>W/mK</b>
32	18	0,25	40	12	0,25
25	12	0,33	32	12	0,33
			25	6	0,33
<b>promedio</b>	<b>30</b>	<b>0,28</b>	<b>promedio</b>	<b>30</b>	<b>0,30</b>
<b>L<sub>CLF,edf</sub> P2</b>			<b>L<sub>CLF,edf</sub> P4</b>		
<b>DN</b>	<b>LONGITUD</b>	<b>Ψ</b>	<b>DN</b>	<b>LONGITUD</b>	<b>Ψ</b>
<b>mm</b>	<b>m</b>	<b>W/mK</b>	<b>mm</b>	<b>m</b>	<b>W/mK</b>
40	6	0,25	40	6	0,25
32	18	0,25	32	18	0,25
25	6	0,33	25	6	0,33
<b>promedio</b>	<b>30</b>	<b>0,27</b>	<b>promedio</b>	<b>30</b>	<b>0,27</b>
<b>L<sub>CLF,edf</sub> P2</b>					
<b>DN</b>	<b>LONGITUD</b>	<b>Ψ</b>			
<b>mm</b>	<b>m</b>	<b>W/mK</b>			
40	6	0,25			
32	18	0,25			
25	6	0,33			
<b>promedio</b>	<b>30</b>	<b>0,27</b>			

Para la calefacción cada vivienda dispone de una válvula motorizada accionada por un termostato ambiente situado en el salón, de modo que cada usuario pueda programar los horarios de calefacción y las temperaturas de bienestar que dese (para ello el horario de servicio comunitario debe ser suficientemente amplio).



**Imagen 20.12:** Distribución viviendas BERMEO

Dicha válvula es de tres vías de modo que se mantenga la circulación de agua independientemente del estado de uso de cada vivienda; para equilibrar el caudal, al margen de la posición de esta válvula (abierta o cerrada), en el retorno general de la vivienda se coloca una válvula de caudal constante, que se adecua a las condiciones de pérdida de carga de cada momento.

Para las distribuciones de calefacción interiores la solución adoptada es la tradicional con radiadores por el interior de los cuales discurre el agua caliente proveniente de la sala de calderas. Se han seleccionado radiadores de chapa de acero de tipo panel.

La distribución es bitubo con tubería de cobre, se llevará empotrada bajo el parquet y envainada mediante coquilla de material aislante térmico, para permitir su libre dilatación, además de protegerlas de los materiales propios de la construcción y reducir sus pérdidas de calor. Los diámetros son obtenidos de los planos en los cuales se muestran también los lugares por donde discurren las tuberías y se obtienen las longitudes reales.

Para poder realizar un equilibrado hidráulico de las instalaciones, todos los radiadores dispondrán de válvula de corte en la entrada al radiador y detentor de reglaje en la salida además, de este modo, puede repararse cada radiador sin necesidad de cortar el servicio al resto de la instalación. Para evitar los problemas de aire en los radiadores, en los mismos se instalarán purgadores manuales.

Las longitudes de las tuberías de los interiores de las viviendas en función del tipo de vivienda que se trate se resumen en la siguiente tabla:



**Tabla 20.11:** Distribución de las tuberías de calefacción en las viviendas.

VIVIENDA TIPO E								
$L_{CLF,cnx}$ (m)	69	$\Psi$ (W/mK)	0,33	n° VIVIENDAS	Bloque 1	3	Bloque 2	0
VIVIENDA TIPO A								
$L_{CLF,cnx}$ (m)	74	$\Psi$ (W/mK)	0,33	n° VIVIENDAS	Bloque 1	17	Bloque 2	0
VIVIENDA TIPO C								
$L_{CLF,cnx}$ (m)	46	$\Psi$ (W/mK)	0,33	n° VIVIENDAS	Bloque 1	0	Bloque 2	10
VIVIENDA TIPO B								
$L_{CLF,cnx}$ (m)	70	$\Psi$ (W/mK)	0,33	n° VIVIENDAS	Bloque 1	10	Bloque 2	10
VIVIENDA TIPO D								
$L_{CLF,cnx}$ (m)	59	$\Psi$ (W/mK)	0,33	n° VIVIENDAS	Bloque 1	0	Bloque 2	5

Se muestra en la siguiente tabla el resumen total de los tramos de tuberías para el servicio de calefacción en el edificio de Bermeo.

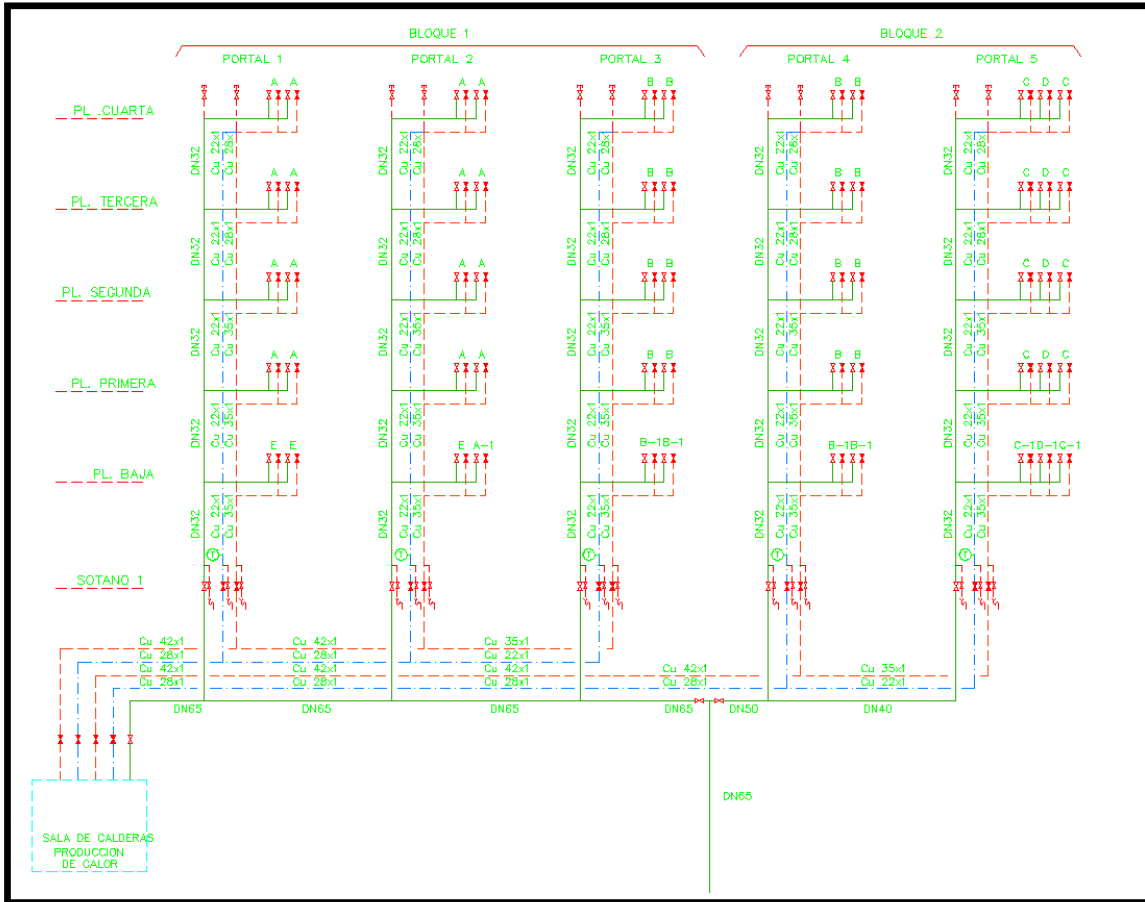
**Tabla 20.12:** Resumen tipo de tuberías en el edificio de BERMEO (distancia en m).

		BLOQUE 1			BLOQUE 2			TOTAL	
		L (m)		$\Psi$ (W/mK)	L (m)		$\Psi$ (W/mK)		
$L_{CLF,clf}$	$L_{CLF,gnr}$	132		0,28	262		0,25		394
$L_{CLF,no\ clf}$	$L_{CLF,edf}$	90	2.255	0,27	60	1.220	0,282	0,33	150
	$L_{CLF,cnx}$	2.737		0,33	1.480		0,33		4.217
Total		2.959		0,33	1.802		0,31		4.761

El agua caliente sanitaria se produce mediante un sistema de acumulación con un intercambiador de placas de acero inoxidable y un depósito de acumulación de 750 litros (el reducido volumen de acumulación es debido a la existencia de un sistema de precalentamiento del ACS con energía solar.) de capacidad, éste sistema requiere dos bombas de circulación, una para el primario y otra para el secundario.

Para evitar que el agua caliente tarde excesivo tiempo en salir por los grifos se realiza un bucle de recirculación del ACS.

Los montantes generales de cada portal se llevan por los mismos patinillos que las tuberías de calefacción; en cada planta se instalan los contadores individuales de agua fría de las viviendas correspondientes; cada derivación dispone de llave de corte, contador y válvula anti retorno.



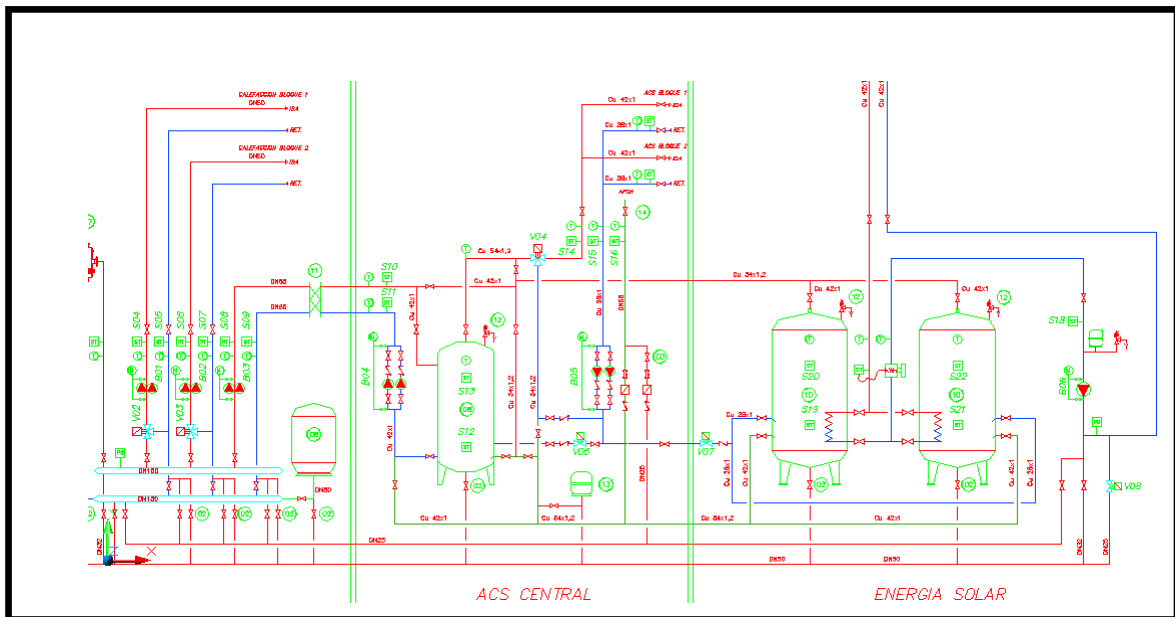
**Imagen 20.13:** Esquema de distribución general a plantas. Calefacción

Se muestra en la siguiente tabla el resumen total de los tramos de tuberías para el servicio de ACS en el edificio de Bermeo obtenidos de los datos del proyecto al igual que en el caso del servicio de calefacción.

**Tabla 20.13:** Resumen tipo de tuberías en el edificio de BERMEO (distancia en m).

		BLOQUE 1				BLOQUE 2				TOTAL	
		L (m)		$\Psi$ (W/mK)		L (m)		$\Psi$ (W/mK)			
$L_{ACS,rcr}$	$L_{ACS,gnr}$	132	222	0,28	0,28	262	322	0,25	0,26	394	544
	$L_{ACS,edf}$	90		0,27		60		0,28		150	
$L_{ACS,cnx}$	$L_{ACS,cnx}$	411		0,33		222		0,33		<b>632</b>	
Total		632		0,31		544		0,29		1.176	

Se instala un sistema de regulación con válvula de tres vías a la salida del depósito, de manera que el agua acumulada se puede mantener a una temperatura superior a la de consumo, por lo que se tiene una mayor eficacia en la prevención de la legionelosis<sup>193</sup> (esta regulación permite elevar periódicamente la temperatura del agua de toda la instalación).



**Imagen 20.14:** Generación de ACS. Imagen cedida por FACTOR 4.

### 20.1.2.1. Regulación automática

La regulación conjunta de la instalación se realiza mediante un sistema de gestión centralizada, que recibe las señales de todas las sondas actuando sobre los equipos (calderas, bombas, etc.) y válvulas de regulación.

A continuación se detallan los elementos de regulación de la instalación, indicando la actuación de cada uno de ellos y su modo de operación en cada uno de los servicios.

<sup>193</sup>NOTA DEL PROYECTISTA: Este sistema es el que más se adecúa al cumplimiento de la UNE 100030, ya que permite mantener el agua acumulada a temperaturas más altas, puede ser incluso de manera continua a 70°C, mientras que la temperatura de distribución se adapta a la compatible con el uso (55 a 60°C); periódicamente y previo conocimiento de los usuarios se puede poner a 70°C toda la instalación, pudiendo llegar a esa temperatura hasta las griferías.

Desde el punto de vista energético también presenta otras ventajas:

- Se obtienen volúmenes de consumo superiores a los acumulados, ya que a estos últimos se les añade el caudal de mezcla.
- Se disminuye la estratificación, ya que el caudal de recirculación no retorna al depósito sino que, en un alto porcentaje, vuelve a recircularse.
- Como consecuencia de lo anterior se consigue que la recirculación extraiga del depósito el caudal de agua estrictamente necesario para mantener la temperatura en las tuberías, evitando los excesos de caudal que habitualmente se recirculan.

Tabla 20.14: Sondas temperatura de BERMEO

Nº	CODIGO	EQUIPO	CONSIGNA	ACTUACION
S01	STEXT01	EXTERIOR	NO	Información de la temperatura exterior para regulación de las temperaturas de impulsión a radiadores.
S02	SCLT01	COLECTOR IMPULSION	VARIABLE	5°C superior a la consigna de temperatura del servicio más desfavorable en cada momento.
S03	SCLT02	COLECTOR RETORNO	60°C	Prioridad al servicio de ACS, cerrando las válvulas de calefacción mientras no se supere la consigna; actúa únicamente cuando se esté demandando servicio de ACS
S04	SCLF101	CALEFACCION PORTAL 1	VARIABLE	Adecuación de la temperatura de impulsión a radiadores del portal 1, a la curva de calefacción programada.
S05	SCLF102	CALEFACCION BLOQUE 1	NO	Información de la temperatura de retorno del circuito de calefacción del Bloque 1.
S06	SCLF201	CALEFACCION BLOQUE 2	VARIABLE	Adecuación de la temperatura de impulsión a radiadores del Portal 2, a la curva de calefacción programada.
S07	SCLF202	CALEFACCION BLOQUE 2	NO	Información de la temperatura de retorno del circuito de calefacción del Bloque 2.
S08	SACSP01	PRIMARIO ACS	VARIABLE	15°C superior a la temperatura en la parte superior del depósito de consumo, con un máximo de 80°C.
S09	SACSP02	PRIMARIO ACS	NO	Información temperatura retorno Primario ACS.
S10	SACSS01	SECUNDARIO ACS	NO	Información temperatura Salida Secundario ACS.
S11	SACSS02	SECUNDARIO ACS	NO	Información temperatura Entrada Secundario ACS.
S12	SACSD01	DEPOSITO CONSUMO ACS	65 °C	Arranque del sistema de producción de ACS, dentro del horario para el mismo, si la temperatura en ese punto del depósito es inferior a la consigna.
S13	SACSD02	DEPOSITO CONSUMO ACS	65 °C	Paro del sistema de producción de ACS, dentro del horario para el mismo, si la temperatura en ese punto del depósito es superior a la consigna.
S14	SACSI01	CONSUMO ACS	58 °C	Adecuación de la temperatura de distribución de ACS a viviendas, actúa sobre la válvula mezcladora a la salida del depósito.
S15	SACSR01	RETORNO ACS	VARIABLE	Si la temperatura del agua de retorno es inferior a la de los depósitos de ACS Solar, deriva el agua hacia ellos, en caso contrario la envía al depósito de consumo.
S16	SIAF01	ENTRADA AGUA RED	NO	Información de la temperatura de entrada del agua de la Red.
S17	SESP01	PANELES SOLARES	VARIABLE	Cuando la temperatura registrada a la salida de los paneles es superior en 5°C a la del agua en la parte inferior de los depósitos de ACS para calentamiento solar, arranca la bomba de este sistema.
S18	SESP02	PANELES SOLARES	NO	Información estado de funcionamiento de la instalación solar.
S19	SESD101	DEPOSITO 01 ACS SOLAR	VARIABLE	Junto con las sondas S17 y S21 determina el arranque de la bomba del sistema de energía solar.
S20	SESD102	DEPOSITO 01 ACS SOLAR	VARIABLE	Si la temperatura del agua de retorno es inferior a la de los depósitos de ACS Solar, deriva el agua hacia ellos, en caso contrario la envía al depósito de consumo.
S21	SESD201	DEPOSITO 02 ACS SOLAR	VARIABLE	Junto con las sondas S17 y S19 determina el arranque de la bomba del sistema de energía solar.
S22	SESD202	DEPOSITO 02 ACS SOLAR	VARIABLE	Si la temperatura del agua de retorno es inferior a la de los depósitos de ACS Solar, deriva el agua hacia ellos, en caso contrario la envía al depósito de consumo.

**Tabla 20.15:** Válvulas motorizadas para regulación de BERMEO

Nº	CODIGO	TIPO	REGULACION	ACTUACION
V01	VCLD101	2 VIAS	TODO / NADA	Comandada por: S02. Aislar hidráulicamente la caldera cuando esté fuera de servicio.
V02	VCLD201	2 VIAS	TODO / NADA	Comandada por: S02. Aislar hidráulicamente la caldera cuando esté fuera de servicio.
V03	VCLF101	3 VIAS	PROPORCIONAL	Comandada por S01 y S04. Variar la temperatura de impulsión a radiadores del Portal 1, en función de la temperatura exterior, según la curva que se programe. Cierra fuera del horario de calefacción.
V04	VCLF201	3 VIAS	PROPORCIONAL	Comandada por S01 y S06. Variar la temperatura de impulsión a radiadores del Portal 2, en función de la temperatura exterior, según la curva que se programe. Cierra fuera del horario de calefacción.
V05	VACSI01	3 VIAS	PROPORCIONAL	Comandada por S14. Mantener constante la temperatura de distribución de ACS; permite aumentar periódicamente dicha temperatura para realizar el tratamiento para prevención de la Legionelosis.
V06	VACSR01	2 VIAS	TODO / NADA	Comandada por S15. Permite el paso del agua de retorno de ACS hacia el depósito de consumo.
V07	VACSR02	2 VIAS	TODO / NADA	Comandada por S15. Permite el paso del agua de retorno de ACS hacia los depósitos de ACS Solar, cuando la temperatura de retorno es inferior a la de acumulación de estos últimos.
V08	VES01	2 VIAS	TODO / NADA	Comandada por SESI01. Vacía la instalación de los Paneles Solares si la temperatura alcanza valores con riesgo de heladas.

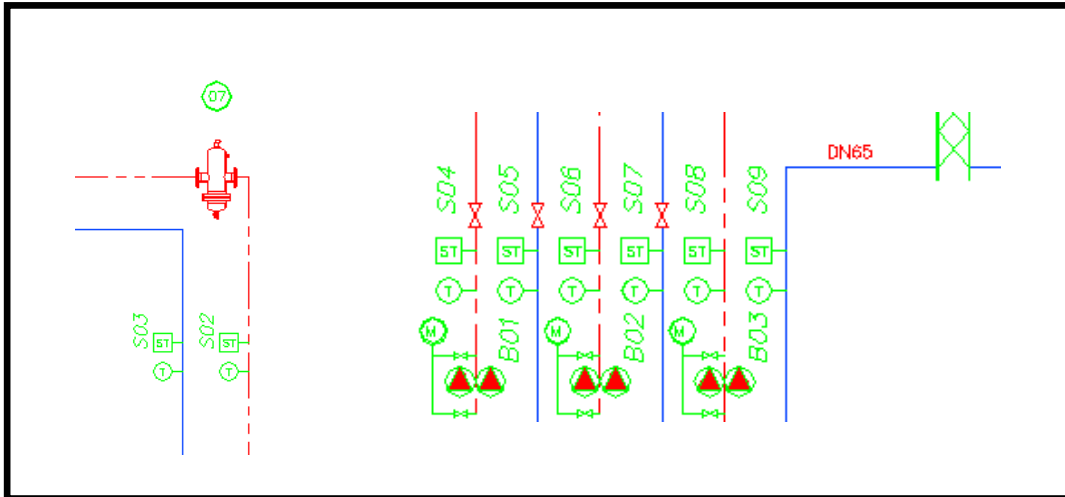
Además de los equipos de regulación la instalación dispone de los siguientes contadores con emisor de impulsos, que serán registrados para su control (como se observa no hay un contador horario):

**Tabla 20.16:** Equipos medida de BERMEO

Nº	CODIGO	TIPO	ACTUACION
M01	CBLE01	COMBUSTIBLE	Consumo de combustible de la instalación; se registrará del propio contador de facturación.
M02	ACS01	CAUDAL	Se registrará el consumo de ACS.
M03	IAF01	CAUDAL	Se registrará el consumo de agua de llenado de la instalación.

La producción de calor estará en disposición de funcionamiento siempre que se requiera algún servicio, Calefacción y/o ACS.

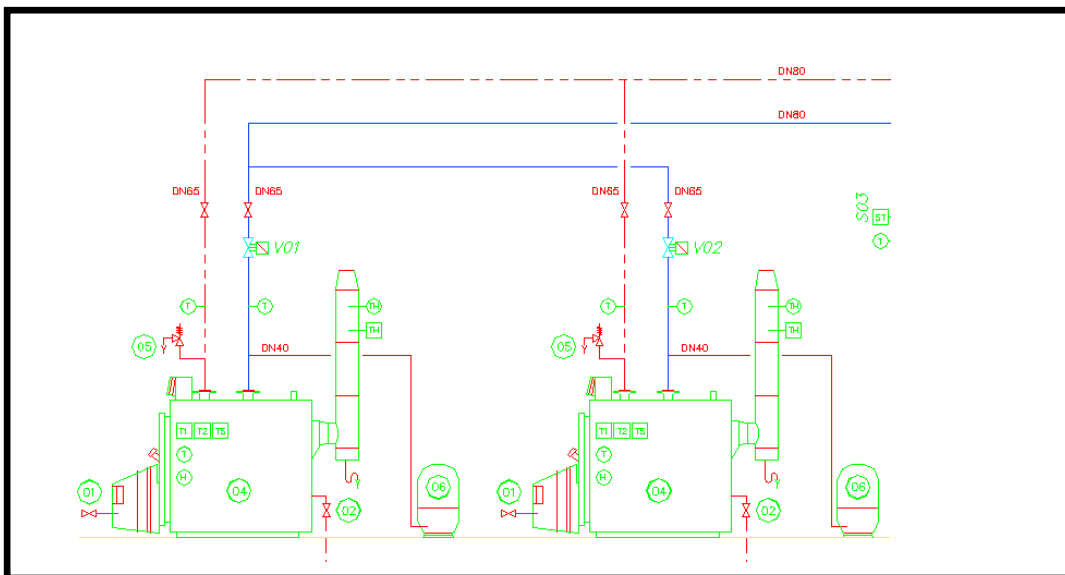
La temperatura de consigna se controla mediante la sonda S02, situada en la impulsión común de calderas; al objeto de trabajar constantemente con las temperaturas de producción más bajas, compatibles con un correcto servicio, la consigna variará continuamente, manteniéndose 5°C por encima de la del servicio más desfavorable en cada momento; es decir de la máxima requerida por las sondas: S04, S06, y S08.



**Imagen 20.15:** Sondas de temperatura BERMEO

Se programará una regulación en secuencia de calderas, de manera que en cada momento esté en funcionamiento el número de escalones mínimo necesarios para mantener las condiciones de consigna en el colector de impulsión; las válvulas propias de calderas permanecerán cerradas mientras no estén en disposición de servicio.

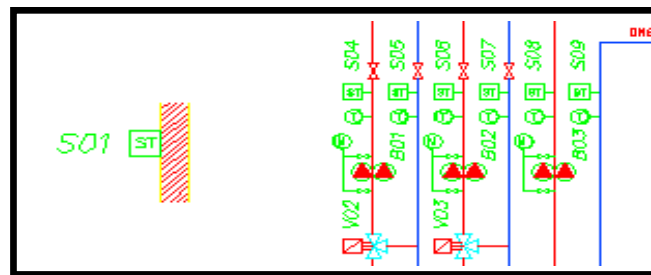
Para que cada caldera permanezca en disposición de servicio, previamente la sonda interna correspondiente debe detectar que la temperatura de impulsión es superior a 50°C, requisito impuesto por el fabricante; en caso que la temperatura sea inferior, enviará una señal al sistema de regulación que cerrará la válvula de caldera hasta que la propia caldera incremente la temperatura, una vez elevada se abrirá la válvula y la caldera se mantendrá en disposición de funcionamiento, mientras su sonda interior no detecte que la temperatura vuelve a disminuir.



**Imagen 20.16:** Calderas de BERMEO

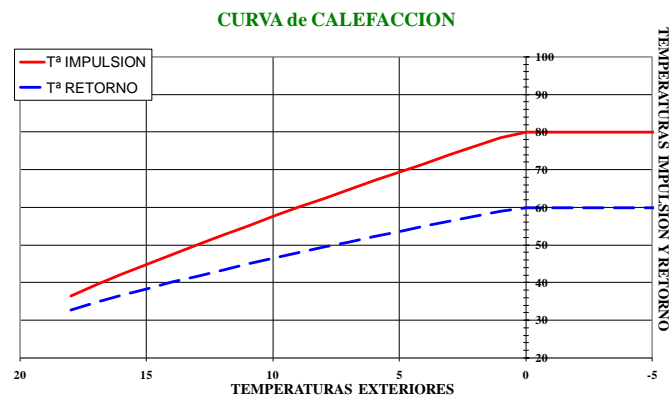
Las consignas de temperatura de producción de las calderas, las determinará directamente el sistema de regulación no siendo precisos los termostatos de calderas; ambas son de dos etapas, por lo que la regulación conjunta actuará directamente sobre sus regulaciones disponiéndose de 4 escalones de potencia.

En el horario de calefacción, y si la temperatura exterior no es superior a la prefijada (18°C) para corte de este servicio, el sistema de regulación pone en marcha las bombas de calefacción de los dos circuitos; el sistema recibe las señales de la sonda de temperatura exterior (S01) y de las sondas de temperatura de impulsión a radiadores de cada circuito (S04 y S06), las compara, y en función de las curvas que se le programen, posiciona las válvulas de tres vías (V02 y V03), de modo que para cada temperatura exterior, y para cada circuito, se obtenga la temperatura de impulsión correspondiente.



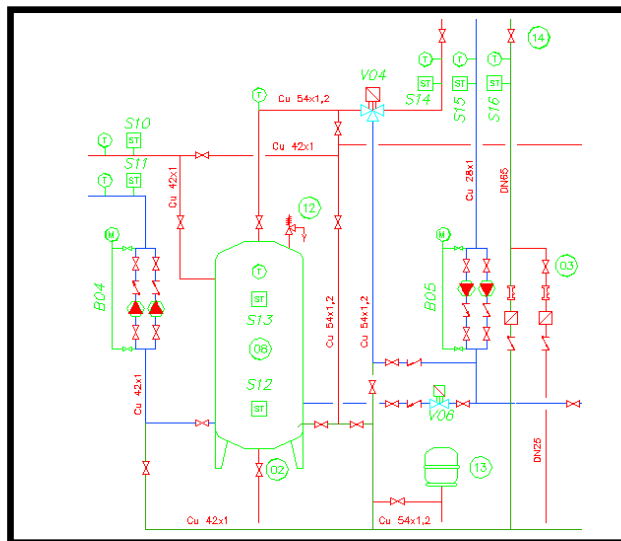
**Imagen 20.17:** Bombas BERMEO

El sistema de calefacción permanece en disposición de funcionamiento, mientras que la temperatura exterior se mantenga por debajo de la de consigna para corte de este servicio (temperatura seca de 18°C) y durante el horario de calefacción que se ha determinado en acuerdo comunitario de 8 a 21 horas.



**Imagen 20.18:** Curva regulación BERMEO

La regulación de la producción de ACS se realiza con dos sondas de temperatura, la sonda S13, que se sitúa en la parte del depósito más próxima al consumo y la sonda S12 que se coloca en la parte inferior del mismo, más próxima a la entrada de agua fría; cuando la temperatura detectada por la sonda S12 es inferior a la de consigna (65°C) el sistema pone en marcha a las bombas de primario y secundario, iniciándose la producción de ACS; el sistema permanecerá en funcionamiento hasta que la sonda S13 detecte que se ha alcanzado la temperatura de consigna (65°C), momento en el que se pararán las bombas.

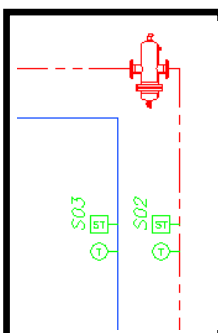


**Imagen 20.19:** Depósito primario ACS BERMEO

El horario del sistema de producción de ACS puede determinarse por acuerdo comunitario, o bien mantenerlo en disposición de funcionamiento las 24 horas del día, ya que ello no conlleva un mayor consumo, puesto que por la noche solo entrará en funcionamiento si la sonda S12 del depósito detecta una temperatura baja, y desde ese momento funcionará hasta calentar toda el agua acumulada; como por la noche apenas habrá consumo, no volverá a ponerse en funcionamiento hasta la mañana siguiente, obteniéndose por contra una mayor fiabilidad de servicio, pues se puede hacer frente al consumo de primera hora con el depósito prácticamente al completo. De cualquier forma en este edificio se decide mantener en funcionamiento (por acuerdo comunitario) las bombas de recirculación de 6 a 21 horas todos los días (ambas horas inclusive).

El funcionamiento de la bomba de recirculación se controla mediante programador horario, incorporado en el propio sistema.

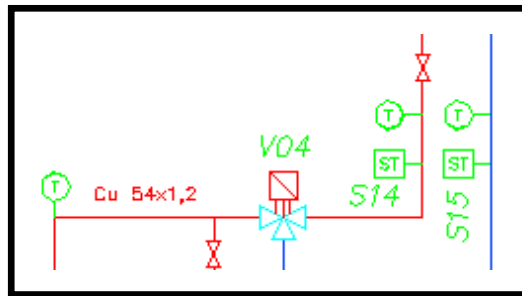
La prioridad al ACS se logra con la sonda S03, actuando sobre las válvulas de tres vías de calefacción, de modo que no se permite la apertura de las mismas, aunque se esté demandando el servicio de calefacción, hasta que en el retorno se tenga una temperatura que permite cubrir los dos servicios de manera conjunta.



**Imagen 20.20:** Sondas térmicas BERMEO

La temperatura de producción se regula permanentemente mediante la válvula V04, situada a la salida del depósito de consumo, la misma actúa mezclando agua caliente del depósito con agua de recirculación y agua fría, de manera que mantiene la temperatura del agua de distribución, constantemente a la temperatura de consigna, actuando en función de las señales de la sonda S15.

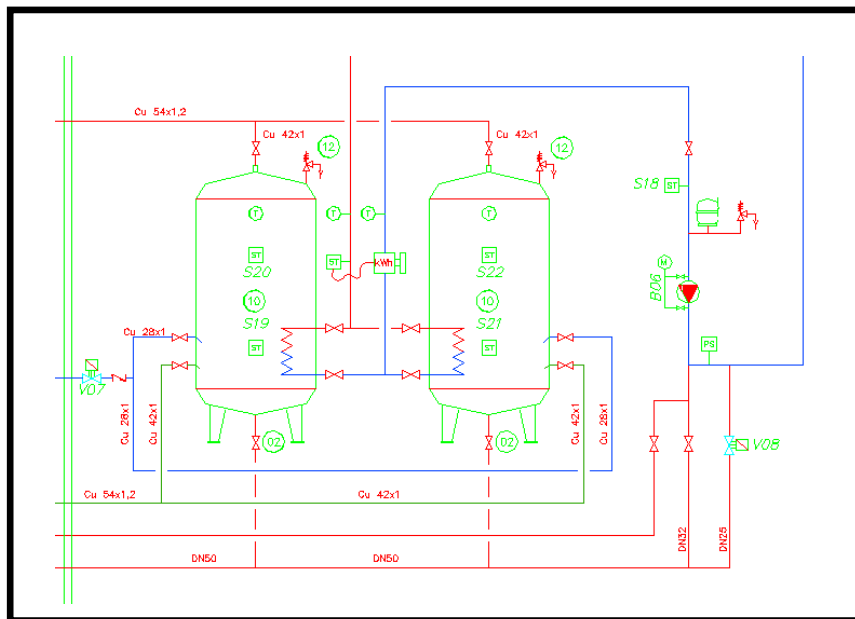




**Imagen 20.21:** Regulación ACS BERMEO

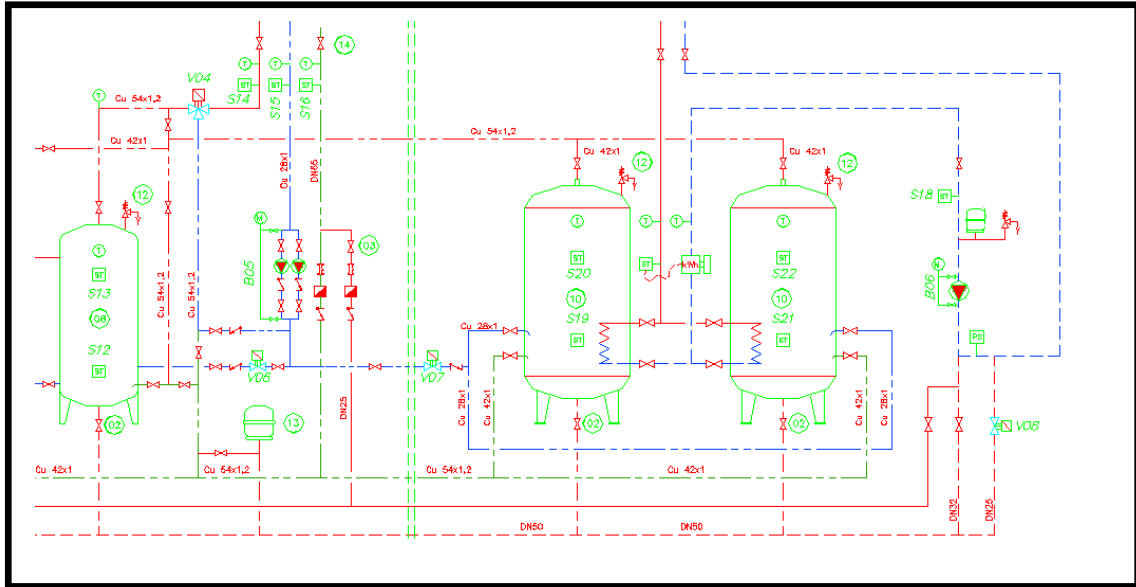
Para un mejor control de la instalación, se prevé la integración de la regulación de la instalación de energía solar en el sistema de control central; el funcionamiento normal de esta instalación puede considerarse independiente, ya que su función es precalentar el ACS, siendo la instalación tradicional la que eleva la temperatura hasta las condiciones de uso.

Cuando la temperatura a la salida de paneles, registrada por la sonda S18, es superior en 5°C a la temperatura en la parte inferior de los depósitos de acumulación de ACS (sondas S19 y S21), el sistema pone en marcha a la bomba de circulación por paneles, iniciándose el calentamiento del agua acumulada, la bomba se mantendrá en marcha mientras permanezca la diferencia de temperaturas indicada.



**Imagen 20.22:** Depósitos solar ACS BERMEO

En la forma de funcionamiento habitual, el agua fría entra a los depósitos calentados por los paneles y la salida de los mismos se conecta al depósito de ACS de consumo; la recirculación se lleva directamente a este último, debido a que habitualmente la temperatura de retorno será superior a la del agua calentada por paneles, en esta situación la válvula V06 estará abierta estando cerrada la V07. Cuando la temperatura de retorno (S15) sea inferior a la del agua acumulada en los depósitos de Energía Solar (S20 y S22), el agua recirculada se enviará hacia ello, para lo cual se cerrará la válvula V06 abriéndose la V07.

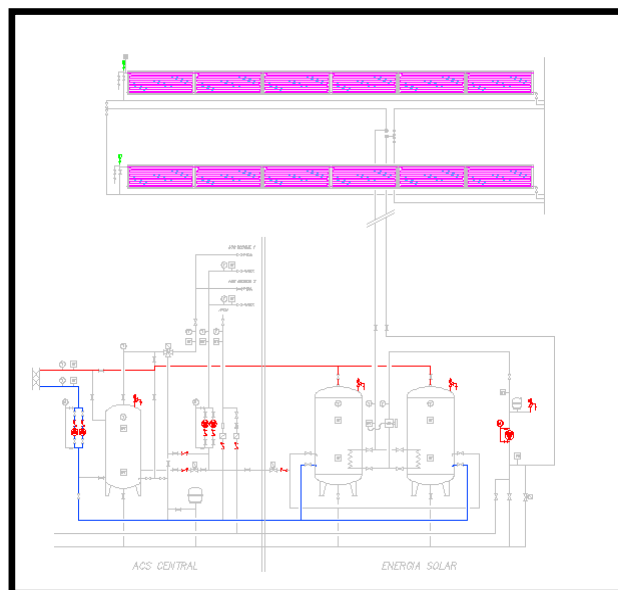


**Imagen 20.23:** Esquema principio ACS BERMEO

Los paneles se ubican en la cubierta del Bloque 1, distribuidos en dos zonas, en seis grupos (tres por zona) de 6 paneles cada uno; lo que supone un total de 36 paneles, con una superficie total de captación de 90 m<sup>2</sup> (1,64 m<sup>2</sup> por vivienda). Los paneles tienen orientación Sur y 45° de inclinación.

Para la producción de ACS se utilizan dos interacumuladores de 2.500 l cada uno, por tratarse de equipos con intercambiador incorporado, con el fin de obtener un mayor aprovechamiento de la radiación solar ambos interacumuladores se conectan hidráulicamente en paralelo; la salida conjunta de los mismos se conecta en serie con otro acumulador (de consumo) de 750 l, que es calentado mediante un intercambiador exterior de placas desde la instalación centralizada de calefacción y ACS; siendo en este último depósito donde se produce el calentamiento hasta la temperatura de uso.

Se estima en proyecto [20.2] una aportación solar del 62% sobre las necesidades de ACS estimadas, la energía aportada prevista es de 53.098 kWh/año, con un rendimiento de los paneles, sobre la radiación incidente, del 51%



**Imagen 20.24:** Paneles solares BERMEO

### 20.1.2.2. Selección de equipos

Se reproduce en este apartado como el proyectista ha optado por los modelos de los equipos instalados en los edificios.

Las calderas tienen que generar agua caliente para los servicios de calefacción y agua caliente sanitaria. En el caso de calefacción la potencia necesaria es de 187 kW. La potencia necesaria para el agua caliente sanitaria es de 78 kW. Por tanto la potencia total es de 265 kW (187 + 78).

El proyectista ha considerado un 15% de sobre potencia necesaria para puesta a régimen de la instalación se tiene una potencia total necesaria de  $265 \cdot 1,15 = 305$  kW.

Se han seleccionado dos grupos térmicos (conjunto caldera-quemador) iguales de las siguientes características:

**Tabla 20.17:** Características de las calderas BERMEO

Marca	VISSMANN	
Modelo	VITOPLEX 100/170	
Tipo	BAJA TEMPERATURA	
Potencia Útil	170	kW
Número de marchas	DOS	
Presión de Timbre	4	bar
Caudal Mínimo	NO REQUIERE	
Temperatura Mínima de Impulsión	50 °C	
Contenido de Agua	259	l
Inercia	1,4	l/kW

Potencia útil total instalada: 340 kW, con una potencia nominal de 370 kW.

Se trata de calderas con quemadores de dos etapas de potencia, cada una; con las mismas se tienen cuatro niveles de potencia útil.

**Tabla 20.18:** Escalones de potencia disponibles BERMEO

NIVEL DE POTENCIA 1	85	kW
NIVEL DE POTENCIA 2	170	kW
NIVEL DE POTENCIA 3	255	kW
NIVEL DE POTENCIA 4	340	kW

El proyectista [20.2], para lograr un mayor rendimiento medio estacional de la instalación, dimensiona el intercambiador para la producción de ACS con la potencia equivalente a una caldera, de modo que se eviten arrancadas y paradas continuas de la misma cuando se esté dando únicamente este servicio.

Asimismo se dimensiona para las condiciones más desfavorables, es decir para los momentos en que por requerimientos del sistema de protección contra la "Legionella" se deba producir el agua a 70°C.

Se selecciona un intercambiador de acero inoxidable electrosoldadas, con las siguientes características:

**Tabla 20.19:** Intercambiador térmico ACS BERMEO

LADO	TEMPERATURA (°C)		CAUDAL l/h
	ENTRADA	SALIDA	
<b>PRIMARIO</b>	80	65	10 000
<b>SECUNDARIO</b>	10	70	5 000
<b>POTENCIA</b>		170 kW	
<b>MARCA</b>		SEDICAL	
<b>MODELO</b>		RLC 85-30	

En el siguiente cuadro se dan las condiciones de diseño de las diferentes bombas de la instalación:

**Tabla 20.20:** Bombas BERMEO

REF.	SERVICIO	CAUDAL	A. MANON.	MARCA	MODELO	RPM
		l/h	mCA			
<b>B01</b>	CLF BLOQUE 1	6.500	5,0	SEDICAL	SM 50/5-B	1.400
<b>B02</b>	CLF BLOQUE 2	5.000	5,0	SEDICAL	SM 50/5-B	1.400
<b>B03</b>	ACS PRIMARIO	1.000	5,0	SEDICAL	SM 65/6-B	1.400
<b>B04</b>	ACS SECUNDARIO	5.000	4,0	SEDICAL	SAM 30/6T	1.450
<b>B05</b>	ACS RECIRCULACION	2.000	3,0	SEDICAL	SAM 30/6T	1.450
<b>B06</b>	ACS ENERGIA SOLAR	3.600	5,5	SEDICAL	SM 50/5-B	1.400

**Tabla 20.21:** Potencias eléctricas equipos BERMEO

EQUIPO	TENSION	POTENCIA	CANTIDAD	TOTAL
	F x V	W		W
QUEMADOR 1	3x380	500	1	500
QUEMADOR 2	3x380	500	1	500
BOMBA CALEFACCION PORTAL 1	3x380	275	1	275
BOMBA CALEFACCION PORTAL 2	3x380	275	1	275
BOMBA PRIMARIO ACS	3x380	815	1	815
BOMBA SECUNDARIO ACS	3x380	660	1	660
BOMBA RECIRCULACION ACS	3x380	660	1	660
BOMBA IMPULSION PANELES	3x380	275	1	275
REGULACION	1x220	500	1	500
<b>TOTAL</b>		<b>3x380</b>		<b>4.460</b>

## 20.2. San Fernando

Se describe en este apartado la envolvente térmica y situación geográfica del segundo edificio (122 viviendas) en estudios que se trata nuevamente de viviendas. Este edificio (su envolvente) es muy vieja y no cumple la legislación vigente el CTE DB HE-1 [20.3]. Las instalaciones térmicas son nuevas pues han sufrido una reforma recientemente.

### 20.2.1. Envolvente térmica

Las viviendas se encuentran en la ciudad de Bilbao (214 metros de altura sobre el nivel del mar y capital de provincia), en la provincia de Vizcaya en la Comunidad Autónoma del País Vasco, España.



**Imagen 20.25:** Localización geográfica SAN FERNANDO

Se trata de un bloque con fachadas principales a las calles Rodríguez Arias y Doctor Achucarro, las fachadas laterales dan a las calles Iparraguirre y Máximo Aguirre. Además el edificio tiene 13 patios interiores (5 grandes y 8 pequeños).



**Imagen 20.26:** Edificios SAN FERNANDO

La distribución de viviendas y plantas se da en el siguiente cuadro:

**Tabla 20.22:** Número de viviendas SAN FERNANDO

PORTAL		Plantas	h <sub>pln</sub> (m)	VIVIENDAS	
				Por Planta	TOTAL
DOCTOR ACHUCARRO	1	6	2,9	2	12
DOCTOR ACHUCARRO	3	6		2	12
DOCTOR ACHUCARRO	5	6		2	12
DOCTOR ACHUCARRO	7	6		2	12
DOCTOR ACHUCARRO	9	6		2	12
RODRIGUEZ ARIAS	14	6		2	12
RODRIGUEZ ARIAS	16	6		2	12
RODRIGUEZ ARIAS	18	6		2	12
RODRIGUEZ ARIAS	20	6		2	12
RODRIGUEZ ARIAS	22	6		2	12
<b>TOTAL VIVIENDAS</b>				<b>122</b>	

La composición de los cerramientos de su envolvente es la siguiente:

**Tabla 20.23:** Composición de cerramientos opacos SAN FERNANDO

Tipo	Área (m <sup>2</sup> )	U (W/m <sup>2</sup> K)	kg/m <sup>2</sup>	Material	Espesor (m)
Cubierta invertida	3.376	1,53	441	Arcilla Expandida [árido suelto]	0,02
				Cámara de aire ligeramente ventilada vertical 10	0,1
				FU Entrevigado de hormigón -Canto 350 mm	0,35
				Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	0,015
Forjado	-	0,82	388	Plaqueta o baldosa cerámica	0,02
				Arcilla Expandida [árido suelto]	0,01
				Mortero de cemento o cal para albañilería y para	0,03
				Corcho Expandido puro 100 < d < 150	0,03
				FU Entrevigado de hormigón aligerado -Canto 25	0,25
Suelo	3.376	1,58	153	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	0,015
				Hormigón convencional d 1700	0,015
				PUR Plancha con HFC o Pentano y rev. imperm	0,005
				Arena y grava [1700 < d < 2200]	0,07
				PUR Plancha con HFC o Pentano y rev. imperm	0,005
Tabique	-	3,2	75	Hormigón convencional d 1700	0,015
				Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	0,015
				Tabique de LH sencillo [40 mm < Espesor < 60	0,04
				Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	0,015
Fachada N, E, S, O, SE, SO	1.864 (N)	1,28	190	1/2 pie LP métrico o catalán 40 mm < G < 60 mm	0,115
	1.780 (E)				
	1.846 (S)			Cámara de aire sin ventilar vertical 5 cm	0,05
	1.780 (O)				
	9 (SE)			Placas de yeso armado con fibras minerales 800	0,065
	9 (SO)				

-: Superficie de cerramiento que no pertenece a la envolvente térmica.

**Tabla 20.24:** Composición de huecos SAN FERNANDO

VIDRIO		MARCO	
Nombre	U (W/m <sup>2</sup> K)	Nombre	U (W/m <sup>2</sup> K)
VER_ML_551a	5,5	VER_Con rotura de puente térmico entre 4 y 12 mm	4
	Factor solar g <sub>L</sub>		Absortividad (α)
	0,85		0,7
HUECOS=VIDRIO+MARCO			
% Hueco		10	
Permeabilidad m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup> a 100Pa		50	
U (W/m <sup>2</sup> K)		5,35	
Factor solar F <sub>H</sub>		0,78	
Área (m <sup>2</sup> ) al NORTE(900+336)		1.236	
Área (m <sup>2</sup> ) al SUR(778+336)		1.114	
Área (m <sup>2</sup> ) al ESTE(400+110,4)		510,4	
Área (m <sup>2</sup> ) al OESTE(400+110,4)		510,4	
Área (m <sup>2</sup> ) al SUROESTE(61)		61	
Área (m <sup>2</sup> ) al SURESTE(61)		61	
Consultar DTIE 7.03 [20.4]			

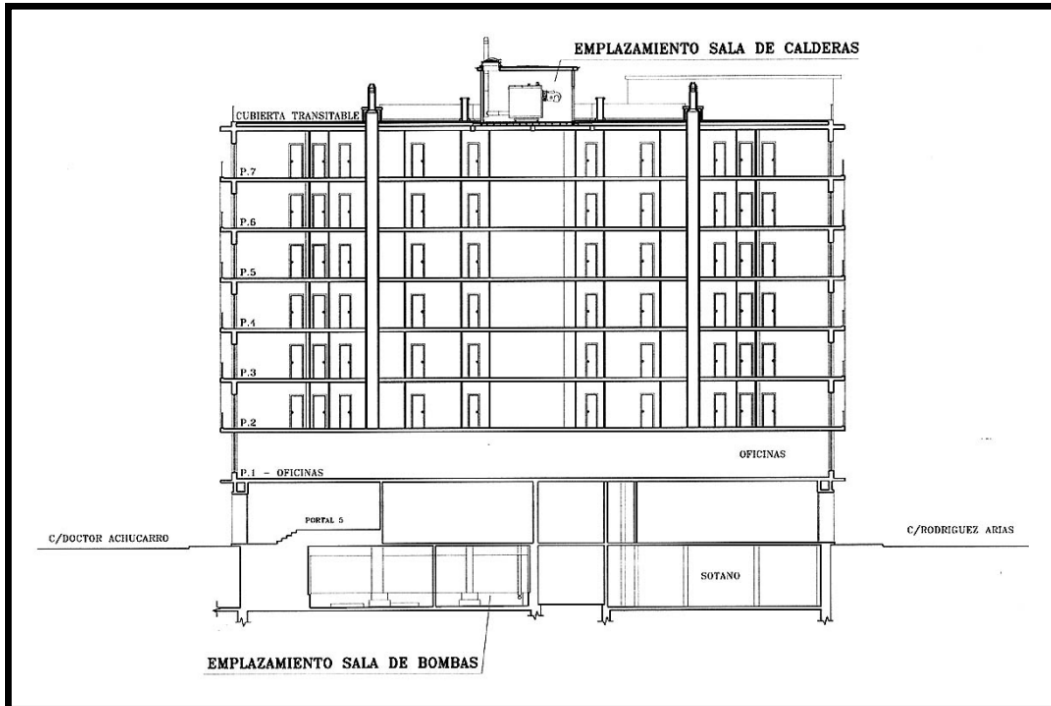
Como ya se mencionó para construir la envolvente de los edificios acorde a la actual legislación se debe cumplimentar la sección 1, Limitación de la Demanda Energética, del Documento Básico de Ahorro de Energía del Código Técnico de la Edificación.

Si se realizara esta comprobación [20.1] el edificio no cumple dicha Sección HE-1 del Código Técnico de la Edificación fundamentalmente porque en su diseño inicial se cumplieron exclusivamente los valores legislativos de la Norma Básica de Edificación CT 79 (del año 1979).

**Tabla 20.25:** Valores medios de los cerramientos viviendas de SAN FERNANDO obtenido de DEHOX

OPACOS										
ORIENTACION	NOMBRE	A (m <sup>2</sup> )	U (W/m <sup>2</sup> K)	A·U (W/K)	ΣA (m <sup>2</sup> )	ΣA·U (W/K)	UMm=ΣA·U / ΣA (W/m <sup>2</sup> K)			
N	Muro exterior 1	1864	1,28	2382,37	1864	2382,37	1,28			
E	Muro exterior 1	1780	1,28	2276,21	1780	2276,21	1,28			
O	Muro exterior 1	1864	1,28	2382,37	1864	2382,37	1,28			
S	Muro exterior 1	1780	1,28	2276,21	1780	2276,21	1,28			
SUR ESTE	Muro exterior 1	9	1,28	11,51	9,00	11,51	1,28			
SUR OESTE	Muro exterior 1	9	1,28	11,51	9,00	11,51	1,28			
SUELO	Suelo contacto espacio no habitable 1	3376	0,74	2506,1	3376	2506,1	0,74			
CUBIERTA	Cubierta exterior 1	3376	1,56	5278,50	3376	5278,5	1,56			
[1] El área real no es 100 m <sup>2</sup> , pero no es un dato relevante en las exigencias, pues en los tabiques solo se limita que estos no sobrepasen 1,2 W/m <sup>2</sup> K.										
SEMITRASPARENTES										
ORIENTACION	A (m <sup>2</sup> )	U (W/m <sup>2</sup> K)	F	A·U (W/K)	A·F	ΣA (m <sup>2</sup> )	ΣA·U (W/K)	UMm=ΣA·U / ΣA (W/m <sup>2</sup> K)	ΣA·F	FHm=ΣA·F / ΣA
NORTE	900	5,35	1	4815		1236	6612,6	5,35		
NORTE	336	5,35	1	1797,6						
ESTE	400	5,35	0,78	2140	310,4	510,4	2730,64	5,35	329,33	0,65
ESTE	110,4	5,35	0,17	590,64	18,85					
OESTE	400	5,35	0,78	2140	310,4	510,4	2736,16	5,36	329,37	0,65
OESTE	110,4	5,40	0,17	596,16	18,89					
SUR	778	5,35	0,78	4162,3	603,8	1114	5976,70	5,37	705,78	0,63
SUR	336	5,40	0,30	1814,4	101,9					
SUR ESTE	61	5,35	0,78	326,35	47,35	61	326,35	5,35	47,35	0,78
SUR OESTE	61	5,35	0,78	326,35	47,35	61	326,35	5,35	47,35	0,78

Las 122 viviendas se distribuyen en un solo bloque en cuyos bajos se instalan zonas comerciales y oficinas. Por debajo de los comercios se encuentra una zona técnica que era donde originalmente se encontraban las instalaciones térmicas centrales:



**Imagen 20.27:** Sección SAN FERNANDO

La distribución de estancias de cada vivienda no se posee pues la documentación con la que se ha trabajado ha sido el proyecto de reforma cedido por la ingeniería [20.5] y al ser una instalación que ya estaba zonificada se respeta esta distribución.

Se detalla a continuación el nombre que se designa en el programa LIDER a los espacios simulados (también se citan aprovechando el cuadro la potencia calculada en cada vivienda que se utilizara más adelante cuando se definan los sistemas) y se indican los volúmenes y superficies habitables y no habitables del edificio.

**Tabla 20.26:** Superficies de espacios SAN FERNANDO

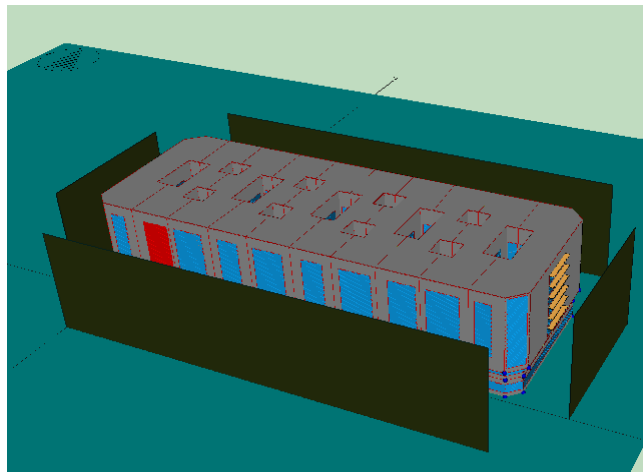
Nombre	Planta	Uso	Clase higrométrica	Área(m <sup>2</sup> )	Altura(m)	Potencia Instalada (kW)
P01_E01	P01	Nivel de estanqueidad 3	3	3376	3	-
P02_E01	P02			3376	4,2	-
P03_E01	P03			3376	2,8	-
P04_E01	P04	Residencial		350	17,4	190
P04_E02				282		190
P04_E03				320		126
P04_E04				280		126
P04_E05				319		126
P04_E06				283		126
P04_E07				312		126
P04_E08				281		126
P04_E09				314		190
P04_E10				339		190



**Tabla 20.27:** Superficies de espacios SAN FERNANDO resumen

SUELO HABITABLE (m <sup>2</sup> )	VOLUMEN HABITABLE (m <sup>3</sup> )
3084,5[1]	53.670
SUELO NO HABITABLE (m <sup>2</sup> )	VOLUMEN NO HABITABLE (m <sup>3</sup> )
10.129	33.762
TOTAL kW	1.516
[1] El suelo habitable real es de $3084,5 \cdot 6 = 18.507 \text{ m}^2$ pues se ha dividido en una sola planta por la zonificación impuesta por los sistemas y limitación del programa LIDER.	

En el programa LIDER la vista en 3D del edificio quedaría finalmente como sigue:



**Imagen 20.28:** Edificio dibujado en LIDER SAN FERNANDO

## 20.2.2. Sistemas

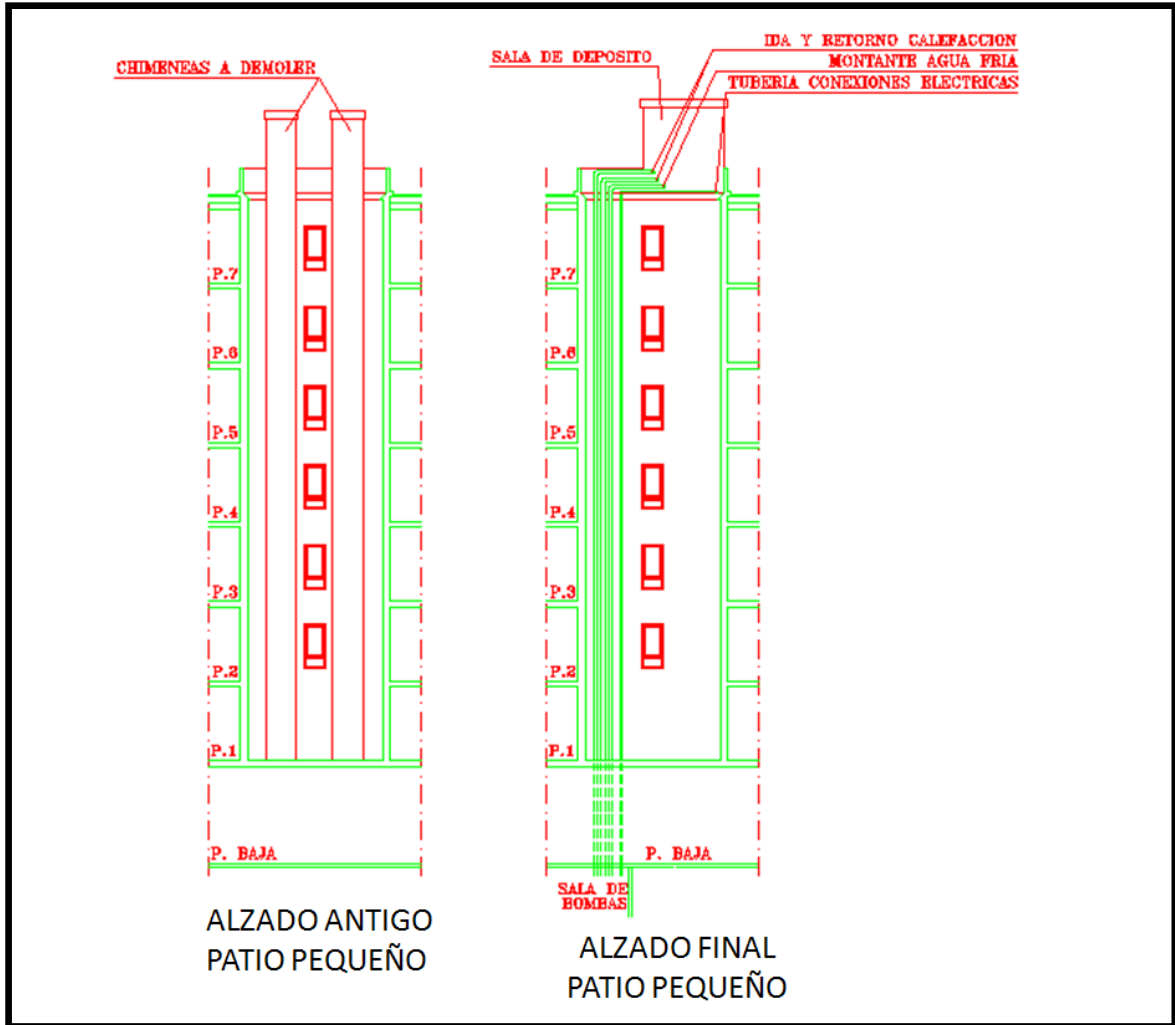
Se trata de una instalación con servicios los de calefacción y ACS con potencia superior a 400 kW, con dos calderas, conectadas hidráulicamente en paralelo y dotadas con sistema de regulación en secuencia.

La sala de calderas antiguamente se encontraba en la planta sótano, con acceso desde el portal de Doctor Achucarro 5 y cubría únicamente el servicio de calefacción. Por motivos de seguridad, la sala de calderas es trasladada a la azotea del edificio (ver imagen 20.27).

Desde la nueva sala de calderas se realiza la distribución de tuberías por uno de los patios pequeños (antiguamente ahí estaban las chimeneas de las antiguas calderas), estas tuberías se conexionan a las tuberías de calefacción que se mantienen y parten de la antigua sala de calderas (actual sala de bombas).

Las tuberías que unen la actual sala de calderas y el colector se aíslan con el mínimo indicado en el RITE 2007 y la distribución desde los colectores a las viviendas con los valores mínimos del RITE 1998.

Las tuberías que discurren por el exterior se aíslan térmicamente y se recubren con chapa de aluminio al objeto de que queden correctamente protegidas de las acciones de la intemperie.



**Imagen 20.29:** Distribución de tuberías de calefacción por los patios pequeños SAN FERNANDO

Con el fin de obtener altos rendimientos estacionales se ha selecciona una caldera [20.5] de baja temperatura y otra de condensación, ésta última actuará como base. A las mismas se les acoplan quemadores mecánicos, homologados para gas natural, con regulación automática del aire de combustión y con cierre de la clapeta de aire en las paradas.

Los quemadores son modulantes, por lo que se dispone de un escalonamiento continuo de la potencia.



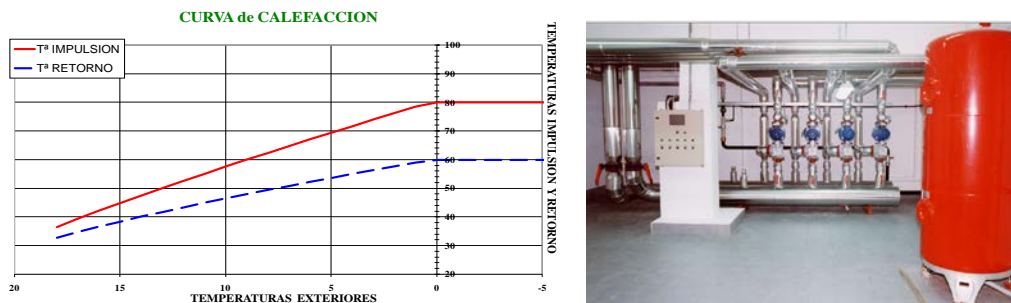
**Imagen 20.30:** Calderas SAN FERNANDO

De acuerdo a las indicaciones del fabricante de la caldera de condensación esta precisa de circulación mínima, por lo que se adoptan precauciones especiales para garantizar este caudal.



**Imagen 20.31:** Circulación mínima SAN FERNANDO

Aprovechando que existían cuatro circuitos hidráulicos independientes de distribución a las viviendas, se instalan cuatro sistemas de regulación de la temperatura de impulsión en función de las condiciones exteriores, con sondas de impulsión y válvulas de tres vías motorizadas.



**Imagen 20.32:** Curvas de comportamiento en función de las condiciones exteriores

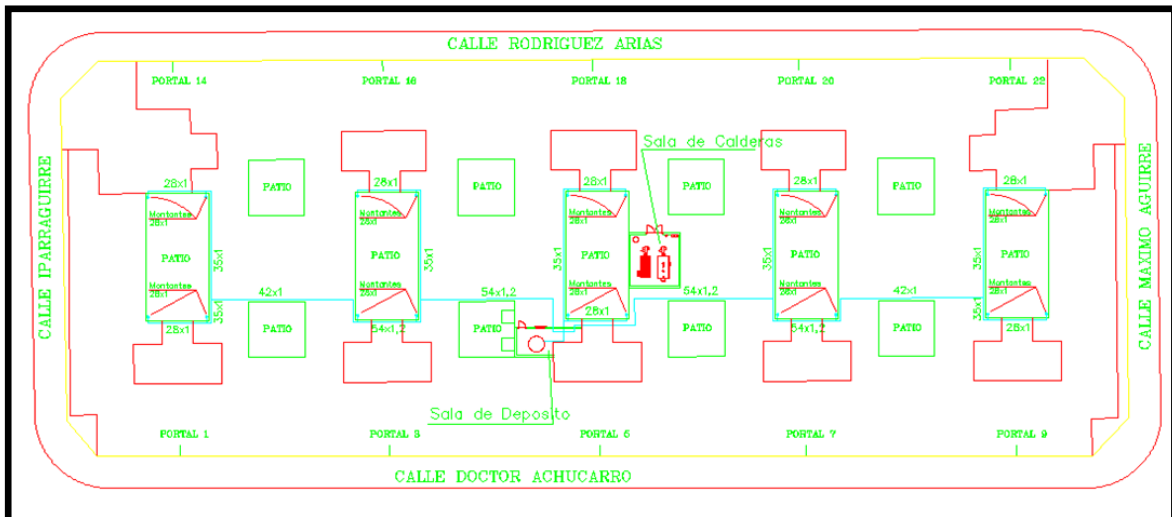
Esta solución obliga a instalar bombas de circulación independientes en cada circuito; de ésta manera, al ahorro energético que supone la regulación en función de las condiciones exteriores, se le añade la mejora de servicio que supone el equilibrado hidráulico de cada circuito, de forma que las viviendas más alejadas tengan la misma circulación que las más próximas.

El servicio de ACS es centralizado. El ACS se produce mediante un sistema de acumulación con un intercambiador de placas de acero inoxidable y un depósito de acumulación de 2.500 litros de capacidad. Este sistema requiere dos bombas de circulación, una para el primario y otra para el secundario.

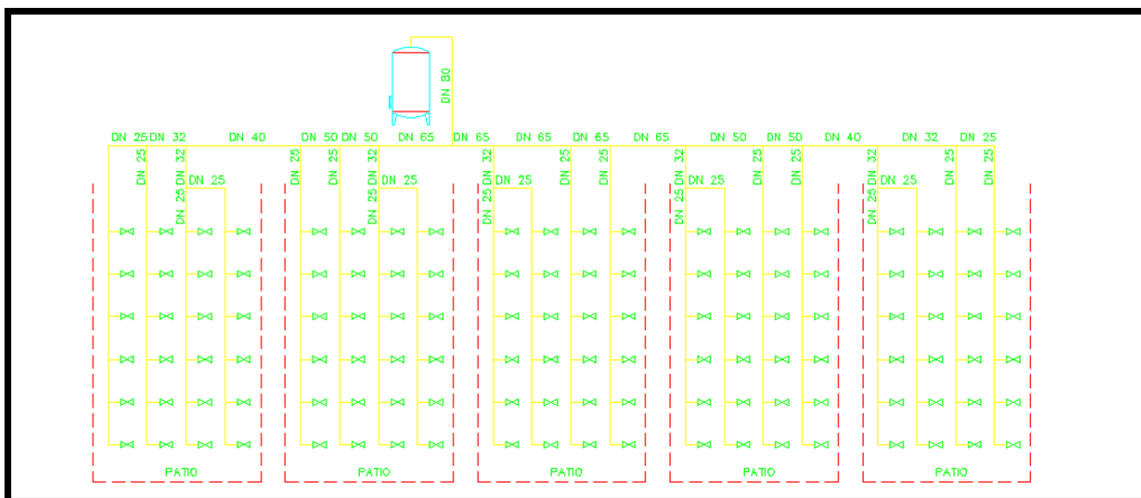


**Imagen 20.33:** Depósito ACS SAN FERNANDO

Se realiza un bucle de recirculación según legisla el HE-4. La distribución se realiza en tres circuitos; con distribuciones generales por cubierta y montantes por las fachadas de los patios interiores.



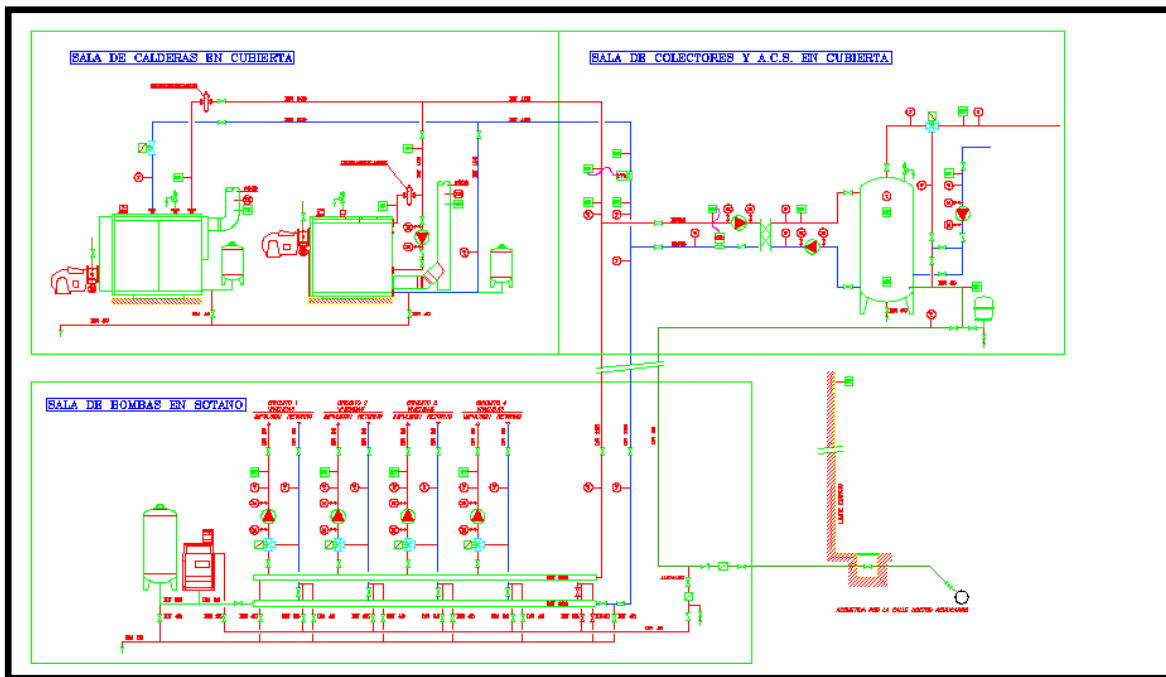
**Imagen 20.34:** Distribución de ACS vista en planta. SAN FERNANDO



**Imagen 20.35:** Distribución de ACS vista en alzado. SAN FERNANDO

En la salida del agua hacia las viviendas se instala una válvula motorizada de tres vías, de manera que el agua se puede acumular a temperatura superior a la de consumo, lo que proporciona una mejor respuesta del sistema y permite un tratamiento contra la legionella más eficaz.

Se instala un contador general y contadores individuales de ACS, todos ellos con emisor de impulsos, de manera que se pueda tener un control centralizado de los consumos.



**Imagen 20.36:** Esquema de principios de SAN FERNANDO

Las tuberías se dimensionan de manera que la pérdida de carga en las mismas sea inferior a 40 mmCA/m y la velocidad del agua por su interior sea inferior a 2 m/s.

Los caudales se obtienen para un salto térmico de 20 °C, excepto para el secundario de ACS que se ha considerado de 40 °C y la recirculación de agua caliente sanitaria.

En la tabla siguiente se muestra la sección y longitud de las tuberías de las salas de calderas y de la sala de bombas.

**Tabla 20.28:** Longitud de las tuberías principales

TRAMO	TUBERIA	LONGITUD	AGUA	DN	DI
	DN	m	l		
<b>CALDERA 1 (CONDENSACION)</b>	<b>100</b>	6	52	100	105
<b>CALDERA 2 (BAJA TEMPERATURA)</b>	<b>100</b>	6	52	100	105
<b>COMUN</b>	<b>125</b>	30	398	125	130
<b>GENERALES</b>	<b>125</b>	80	1.062	125	130
<b>COLECTOR P. BAJA</b>	<b>250</b>	10	508	250	254
<b>RAMAL CLF 1</b>	<b>80</b>	10	51	80	80,8
<b>RAMAL CLF 2</b>	<b>80</b>	10	51	80	80,8
<b>RAMAL CLF 3</b>	<b>80</b>	10	51	80	80,8
<b>RAMAL CLF 4</b>	<b>80</b>	10	51	80	80,8
<b>PRIMARIO ACS</b>	<b>65</b>	20	74	65	68,8
<b>SECUNDARIO ACS</b>	<b>65</b>	20	74	65	68,8
<b>RECIRCULACION ACS</b>	<b>65</b>	200	744	65	68,8

**Tabla 20.29:** Longitud total de las tuberías principales

DIAMETRO NOMINAL DE LAS TUBERIAS					
40	65	80	100	125	250
m TOTALES A INSTALAR POR SECCION					
100	240	40	12	110	10
m TOTALES A INSTALAR					512
l TOTALES DE AGUA					3.307

**20.2.2.1. Regulación automática**

La regulación conjunta de la instalación se realiza mediante un sistema de gestión centralizada, que recibe las señales de todas las sondas y actúa sobre los equipos (calderas, bombas, etc.) y sobre las válvulas de regulación.

A continuación se detallan los elementos de regulación de la instalación, indicando la actuación de cada uno de ellos.

**Tabla 20.30:** Sondas temperatura SAN FERNANDO

CODIGO	CONSIGNA	ACTUACION
SCLD01	VARIABLE	5°C superior a la consigna de temperatura del servicio más desfavorable en cada momento.
SCLD02	40 °C	Prioridad al servicio de ACS, cerrando las válvulas de calefacción mientras no se supere la consigna.
SCLD03	35 °C	Si la temperatura es inferior a la consigna, cierra la válvula de la Caldera 1, arranca la bomba de circulación de dicha caldera.
SEXT01	NO	Información de la temperatura exterior para regulación de las temperaturas de impulsión a radiadores.
SCLF01	VARIABLE	Adecuación de la temperatura de impulsión a radiadores de la Zona 1, a la curva de calefacción programada.
SCLF02	VARIABLE	Adecuación de la temperatura de impulsión a radiadores de la Zona 2, a la curva de calefacción programada.
SCLF03	VARIABLE	Adecuación de la temperatura de impulsión a radiadores de la Zona 3, a la curva de calefacción programada.
SCLF04	VARIABLE	Adecuación de la temperatura de impulsión a radiadores de la Zona 4, a la curva de calefacción programada.
SACS01	60 °C	Arranque del sistema de producción de ACS, dentro del horario para el mismo, si la temperatura en ese punto del depósito es inferior a la consigna.
SACS02	60 °C	Paro del sistema de producción de ACS, dentro del horario para el mismo, si la temperatura en ese punto del depósito es superior a la consigna.
SACS03	65 °C	Indicación, durante los periodos de producción de ACS, para la elevación de la consigna de funcionamiento de calderas.
SACS04	53 °C	Adecuación de la temperatura de distribución de ACS a viviendas, actúa sobre la válvula mezcladora a la salida del depósito.
SACS05	NO	Información del estado de funcionamiento de la instalación.

**Tabla 20.31:** Válvulas de regulación SAN FERNANDO

CODIGO	TIPO	REGULACION	ACTUACION
VCLD01	2 Vías	TODO/NADA	Comandada por: SCLD01 y SCLD03
			Dejar fuera de servicio a la Caldera 1 y mantener la temperatura mínima de retorno a caldera.
VCLD02	2 Vías	TODO/NADA	Comandada por: SCLD01.
			Dejar fuera de servicio a la Caldera 2.
VCLF01	3 Vías	PROPORCIONAL	Comandada por: SEXT01 y SCLF01.
			Variar la temperatura de impulsión a radiadores de la Zona 1 en función de la curva de calefacción programada. Cierra fuera del horario de calefacción.
VCLF02	3 Vías	PROPORCIONAL	Comandada por: SEXT01 y SCLF02.
			Variar la temperatura de impulsión a radiadores de la Zona 2 en función de la curva de calefacción programada. Cierra fuera del horario de calefacción.
VCLF03	3 Vías	PROPORCIONAL	Comandada por: SEXT01 y SCLF03.
			Variar la temperatura de impulsión a radiadores de la Zona 3 en función de la curva de calefacción programada. Cierra fuera del horario de calefacción.
VCLF04	3 Vías	PROPORCIONAL	Comandada por: SEXT01 y SCLF04.
			Variar la temperatura de impulsión a radiadores de la Zona 4 en función de la curva de calefacción programada. Cierra fuera del horario de calefacción.
VACS01	3 Vías	PROPORCIONAL	Comandada por: SACS04.
			Mantener constante la temperatura de distribución de ACS; permite aumentar periódicamente la temperatura para el tratamiento contra la Legionella.

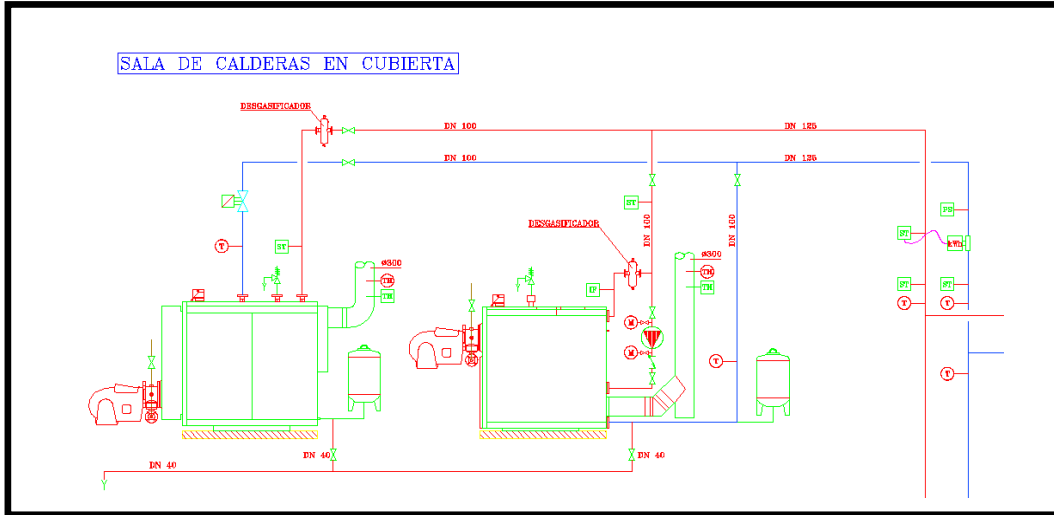
La instalación dispone además de los siguientes contadores para su control:

**Tabla 20.32:** Contadores de energía SAN FERNANDO

CODIGO	TIPO	ACTUACION
CBLE01	COMBUSTIBLE	Consumo de combustible total de la instalación.
		Facturación por parte de la compañía suministradora.
HCLD01	HORAS	Horas de funcionamiento quemador Caldera 1 (condensación).
HCLD02	HORAS	Horas de funcionamiento quemador Caldera 2 (baja temperatura).
ECLF01	ENERGIA TERMICA	Energía total aportada por las Calderas.
		Permite conocer el Rendimiento de Generación Estacional de la Producción de Calor.
EACS01	ENERGIA TERMICA	Energía total demandada por el sistema de producción de ACS, permite conocer el rendimiento Estacional de este sistema.
		Sirve para establecer un reparto de gastos entre los servicios de calefacción y ACS.
EELC01	ENERGIA ELECTRICA	Consumo total de energía eléctrica.
		Facturación por parte de la compañía suministradora.
		Permite conocer el costo total de ambos servicios.
AACS01	AGUA	Consumo total de agua caliente del edificio.
		Facturación por parte de la compañía suministradora.
		Permite calcular el rendimiento de generación estacional del servicio de ACS.
ALLN01	AGUA	Consumo de agua para llenado de la instalación.
		Control del estado de conservación de las instalaciones y detección de posibles fugas de agua.
ACSIND	AGUA	Contadores Individuales de ACS.
		Permiten establecer el reparto de gastos, proporcionalmente al consumo de agua caliente de cada usuario.

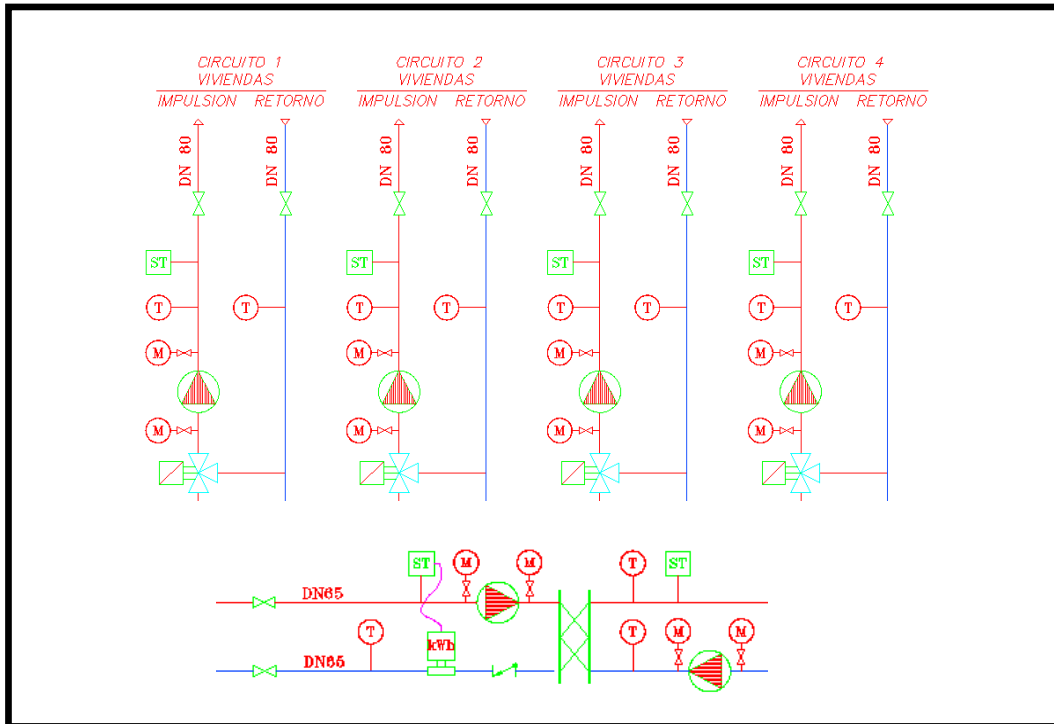
La producción de calor estará en disposición de funcionamiento siempre que se requiera algún servicio: calefacción y/o ACS.

Si la demanda sólo es de ACS, únicamente se permitirá el funcionamiento de la caldera de condensación; cuando se requiera el servicio de calefacción podrán entrar en funcionamiento ambas calderas, en primer lugar siempre lo hará la caldera de condensación; si esta caldera es capaz por sí sola de mantener la temperatura de consigan de cada momento, no se permitirá el funcionamiento de la caldera de baja temperatura.



**Imagen 20.37:** Generadores térmicos SAN FERNANDO

La temperatura de consigna se controla mediante la sonda SCLD01, situada en la impulsión común de calderas; al objeto de trabajar constantemente con las temperaturas de producción más bajas, compatibles con un correcto servicio, la consigna variará continuamente, manteniéndose unos 5°C por encima de la del servicio más desfavorable en cada momento; es decir de la máxima requerida por las sondas: SACS03, SCLF01, SCLF02, SCLF03 y SCLF04.



**Imagen 20.38:** Bombas de circulación SAN FERNANDO



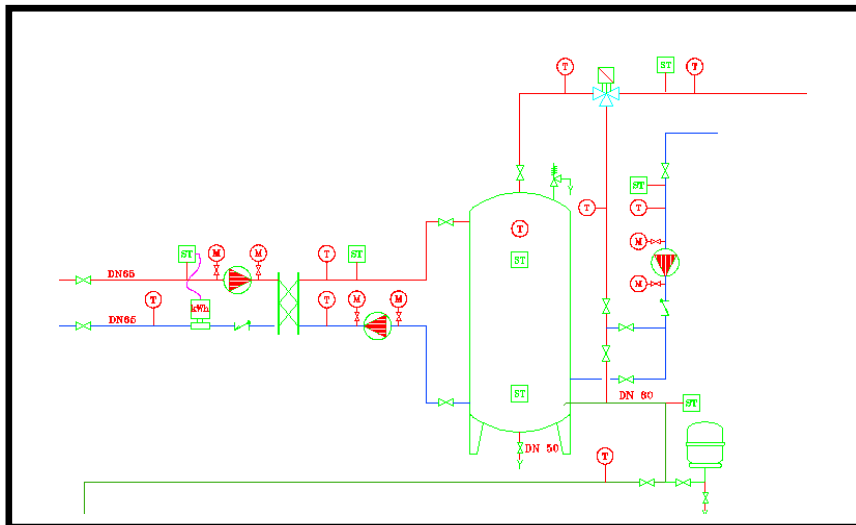
Las válvulas de calderas (VCLD01 y VCLD02) permanecerán cerradas mientras las calderas no estén en disposición de servicio.

Las consignas de temperatura de producción de las calderas, las determinará directamente el sistema de regulación no siendo precisos los termostatos de calderas; ambos quemadores son modulantes, por lo que la regulación conjunta actuará directamente sobre sus regulaciones.

En el horario de calefacción, y si la temperatura exterior no es superior a la prefijada para corte de este servicio (18 °C), el sistema de regulación pone en marcha las bombas de calefacción de los cuatro circuitos; el sistema recibe las señales de la sonda de temperatura exterior y de las sondas de temperatura de impulsión a radiadores de cada circuito, las compara, y en función de las curvas que se le programen, posiciona las válvulas de tres vías, de modo que para cada temperatura exterior, y para cada circuito, se obtenga la temperatura de impulsión correspondiente.

El sistema de calefacción permanecerá en disposición de funcionamiento, mientras que la temperatura exterior se mantenga por debajo de la de consigna para corte de este servicio (aproximadamente 18°C) y durante el horario de calefacción que se determino por acuerdo comunitario de setiembre a mayo.

La regulación de la producción de ACS se realiza con dos sondas de temperatura, la sonda SACS01, que se sitúa en la parte del depósito más próxima al consumo y la sonda SACS02 que se coloca en la parte inferior del mismo, más próxima a la entrada de agua fría; cuando la temperatura detectada por la sonda SACS01 es inferior a la de consigna (60°C) el sistema pone en marcha a las bombas de primario (BACS01) y secundario (BACS02), iniciándose la producción de ACS.



**Imagen 20.39:** Acumulador de ACS SAN FERNANDO

El sistema permanecerá en funcionamiento hasta que la sonda SACS02 detecte que se ha alcanzado la temperatura de consigna (60°C), momento en el que se pararán las bombas BACS01 y BACS02.

El horario del sistema de producción de ACS puede determinarse por acuerdo comunitario, o bien mantenerlo en disposición de funcionamiento las 24 horas del día, ya que ello no conlleva un mayor consumo, puesto que por la noche sólo entrará en funcionamiento si la sonda SACS01 del depósito detecta una temperatura baja, y desde ese momento funcionará hasta calentar toda el agua acumulada; como por la noche apenas habrá consumo, no volverá a ponerse en funcionamiento hasta la mañana siguiente, obteniéndose por contra una mayor fiabilidad de servicio, pues se puede hacer frente al consumo de primera hora con el depósito prácticamente al completo.

La temperatura de distribución se regula continuamente mediante la válvula VACS01, comandada por la consigna de la sonda SACAS04

El funcionamiento de la bomba de recirculación (BACS03) se controla mediante programador horario, incorporado en el propio sistema.

La prioridad al ACS se logra con la sonda SCLD02, actuando sobre las válvulas de tres vías de calefacción, de modo que no se permite la apertura de las mismas, aunque se esté demandando el servicio de calefacción, hasta que en el retorno se tenga una temperatura que permite cubrir los dos servicios de manera conjunta.

### 20.2.2.2. Selección de equipos

Las calderas se dimensionan con potencias adecuadas, una al servicio de calefacción y otra al de agua caliente sanitaria.

La potencia necesaria en calefacción es de 1.320 kW, y se ha considera un 10 % de sobre potencia en el proyecto [20.5], para compensar las pérdidas de distribución, equilibrado, puesta a régimen de la instalación, etc. Por tanto la potencia instalada es 1.452 kW ( $1.320 \cdot 1,10$ )

La potencia necesaria para el agua caliente sanitaria es de 341 kW.

Al objeto de lograr un mejor rendimiento de generación estacional [20.5], la potencia total se selecciona para cubrir, exclusivamente, el servicio de calefacción.

Se han seleccionado dos calderas con las siguientes características:

**Tabla 20.33:** Calderas SAN FERNANDO

CARACTERISTICA	CALDERA 1	CALDERA 2	UNIDAD
	CONDENSACION	BAJA TEMPERATURA	
Marca	VISSMANN	VISSMANN	-
Modelo	PAROMAT 895	VERTOMAT 575	-
Potencia Útil	895	575	kW
Presión de Timbre	6	4	bar
Caudal Mínimo	NO REQUIERE	NO REQUIERE	l/h
Temperatura mínima de impulsión	NO REQUIERE	NO REQUIERE	°C
Contenido de Agua	1.140	570	l
l/kW	1,27	1	l/kW

Ambas calderas se conexionan hidráulicamente en paralelo y se dispone su funcionamiento en secuencia.

Las potencias de las calderas seleccionadas son de 895 kW y de 575 kW; los quemadores deben ser capaces de quemar los caudales de Gas correspondientes a esas potencias, venciendo las pérdidas de carga de los circuitos de humos, dados por el fabricante de las calderas.

Las características del quemador uno son (caldera de condensación):

- Caudal de Gas =  $895 \text{ kW} / 10,83 \text{ kWh/Nm}^3 = 82,64 \text{ Nm}^3/\text{h}$ .
- Pérdida de carga del circuito de humos: 3,6 mbar.

Las características del quemador dos son (caldera de baja temperatura):

- Caudal de Gas =  $575 \text{ kW} / 10,83 \text{ kWh/Nm}^3 = 53,09 \text{ Nm}^3/\text{h}$ .
- Pérdida de carga del circuito de humos: 2,2 mbar.

Se ha selecciona dos quemadores de las siguientes características:

**Tabla 20.34:** Quemadores SAN FERNANDO

CARACTERISTICAS	QUEMADOR 1		QUEMADOR 2	
Marca	WEISHAAPT		WEISHAAPT	
Modelo	G7/1 DMD		G3/1 EMD	
Regulación	MODULANTE		MODULANTE	
Potencia Mínima	300	kW	90	kW
Potencia Máxima	1.750	kW	680	kW
Sobrepresión Máxima	12	mbar	6	mbar
Tensión de Suministro	3x380	V	3x380	V
Potencia Eléctrica	2.600	W	760	W

El intercambiador para la producción de agua caliente sanitaria se dimensiona con la potencia de 345 kW, la cual es superior a la de la marcha mínima de la caldera 2, de modo que se eviten arrancadas y paradas continuas de la misma cuando se esté dando únicamente el servicio de agua caliente sanitaria.

Asimismo se dimensiona para las condiciones más desfavorables, es decir para los momentos en que por requerimientos del sistema de protección contra la “Legionella” se deba producir el agua a 70°C.

Se selecciona un intercambiador marca ULTRAFLEX, modelo UFX-12/29 de 29 placas con las siguientes características:

**Tabla 20.35:** Características intercambiador de ACS SAN FERNANDO

CARACTERISTICA	PRIMARIO	SECUNDARIO
POTENCIA (kW)	345	
CAUDAL (l/h)	15.400	5.100
TEMPERATURA ENTRADA (°C)	80	10
TEMPERATURA SALIDA (°C)	60	70
PERDIDA DE CARGA (kPa)	24	6

Las bombas se han dimensionado para el caudal y la pérdida de carga de cada circuito.

De acuerdo a las indicaciones del fabricante de las calderas en la caldera de condensación se instala una bomba en by-pass, entre la impulsión y el retorno de la caldera de 10.000 l/h (circulación mínima caldera)

La bomba de recirculación de ACS se dimensiona de manera que la temperatura a la entrada de la vivienda del usuario más alejado no sea inferior a 50 °C (UNE 100030); teniendo en cuenta que la temperatura de distribución a la salida del depósito se fija en 53°C, se dispone de un salto térmico de 3 °C.

El Caudal de la bomba de recirculación debe ser tal que sea capaz de compensar las pérdidas de calor en la distribución, con el salto térmico disponible:

$$\text{Caudal Bomba de Recirculación} = 3.908 \cdot 0,86 / 3 = 1.120 \text{ l/h}$$

Se selecciona una bomba de 2.000 l/h; considerando el tipo de regulación, el propio sistema limitará en cada momento el caudal realmente extraído del depósito, lo que redundará en un mejor aprovechamiento de la estratificación.

En el siguiente cuadro se dan las condiciones de diseño de las diferentes bombas de la instalación, indicándose las bombas seleccionadas en el presente caso.

**Tabla 20.36:** Bombas de circulación en SAN FERNANDO

REF.	SERVICIO	CAUDAL	A. MANON.	MARCA	MODELO
		l/h	mCA		
<b>B CLD1</b>	CALDERA 895 kW	10.000	2	SEDICAL	SP 32/6B
<b>B CLF1</b>	CLF VIVIENDAS 1	17.500	6	SEDICAL	SIM 65/185 0,75K
<b>B CLF2</b>	CLF VIVIENDAS 2	17.500	6	SEDICAL	SIM 65/185 0,75K
<b>B CLF3</b>	CLF VIVIENDAS 3	17.500	6	SEDICAL	SIM 65/185 0,75K
<b>B CLF4</b>	CLF VIVIENDAS 4	17.500	6	SEDICAL	SIM 65/185 0,75K
<b>B ACS 1</b>	PRIMARIO ACS	15.000	5	SEDICAL	SM 65/6 B
<b>B ACS 2</b>	SECUNDARIO ACS	7.500	3	SEDICAL	SA 40/8 B
<b>B ACS 3</b>	RECIRCULACION ACS	2.000	2	SEDICAL	SA 25/4 B

En el siguiente cuadro se dan las condiciones de diseño las potencias eléctricas de los equipos del sistema de climatización.

**Tabla 20.37:** Potencia eléctrica de los equipos

EQUIPO	TENSION	POTENCIA	CANTIDAD	TOTAL
	F x V	W		W
QUEMADOR WEISHAAPT G7	3x380	2.600	1	2.600
QUEMADOR WEISHAAPT G3	3x380	760	1	760
GRUPO EXPANSION	3x380	760	1	760
BOMBA SP 32/6 B	3x380	225	1	225
BOMBA SIM 65/185 0,75 K	3x380	750	4	3.000
BOMBA SM 65/6 B	3x380	721	1	721
BOMBA SA 40/8 B	3x380	330	1	330
BOMBA SA 25/4 B	3x380	103	1	103
REGULACION	1x220	250	1	250
ALUMBRADO	1x220	36	16	576
<b>TOTAL</b>	<b>3x380</b>			<b>9.325</b>

## 21. Anexo IX. Equipos fijos de medición

Se especifica en este anexo los equipos fijos de medición utilizada y su error máximo admitido en sus lecturas del Bermeo. Los mismos son los siguientes:

- Contador de gas de la compañía distribuidora
- Contador de energía térmica para el subsistema de distribución de calefacción en cada una de las viviendas
- Contador de agua fría y agua caliente sanitaria en la entrada de cada vivienda
- Contador de energía solar

El contador de gas se encuentra dentro del armario de regulación y medida se sitúa en el exterior del edificio, junto a la entrada a la sala de calderas.



**Imagen 21.1:** Armario de regulación

Las características del mismo son las siguientes:

- **ESTACION DE REGULACION 50 Nm<sup>3</sup>/h:** Estación de Regulación de presión para Gas Natural, con llave de entrada MONOBLOC para PE32 con toma PETERSON incorporada; Filtro tipo T con cuerpo de latón y malla de acero inoxidable de 100 micras; llave de corte de obturador esférico según UNE 60.708, dos tomas de débil calibre diámetro exterior 8mm y 0,5mm de diámetro del orificio de salida de gas. Regulador de Presión con seguridad por máxima presión y válvula de alivio incorporadas:
  - Presión de entrada: 0,4 a 4 bar.
  - Presión de salida 100 mbar.
  - Caudal Máximo 50 Nm<sup>3</sup>/h.
  - Tarado Presión de Seguridad (VIS) por máxima: 250 mbar.
  - Tarado Presión Escape (VAS) por mínima: 50 mbar.
- **CONTADOR G25:** Contador de Gas de Membrana para Gas Natural:
  - Tipo G25.
  - Caudal Máximo: 40 m<sup>3</sup>/h.
  - Caudal Mínimo: 0,25 m<sup>3</sup>/h.
  - Presión Máxima de Servicio: 0,5 bar.
  - Error en la medida a Q<sub>min</sub>: 3%

Error en la medida cuando el caudal está comprendido entre 0,2Q<sub>max</sub>-Q<sub>max</sub>: 2%

Los contadores de energía se encuentran situados en la entrada de cada vivienda, en uno de los patinillos existentes.



**Imagen 21.2:** Patinillo donde están los contadores de energía.

Se trata de un contador electrónico de energía, con pantalla abatible y giratoria; incluyendo contador de caudal, sondas de temperatura, batería de Li para 5+1 años, accesorios y elementos de montaje con posibilidad de transmisión de datos. Las características son las siguientes:

- Marca: SEDICAL
- Modelo: SUPERCAL 539
- Caudal Nominal: 600 l/h.
- PN 16.
- Temperatura máxima de trabajo: 90° C
- Error en la medida: Clase metrologica EN 1434 Clase 3 ( $\pm$  5%)

En los mismos patinillos se encuentran los contadores de agua caliente sanitaria para cada una de las viviendas.



**Imagen 21.3:** Contadores de agua fría y caliente.

Se trata de un contador volumétrico mecánico NAMUR para agua fría o caliente con las siguientes características:

- Caudal nominal ( $Q_n$ ) de 1,5 m<sup>3</sup>/h
- Caudal máximo 3 m<sup>3</sup>/h
- Temperatura máxima de 90° C y salida de impulsos
- Calibre: DN 20
- Clase: C
- Llave de corte previa DN 25
- Filtro y válvula antirretorno DN 25
- Error en la medida: Clase metrologica EN 1434 Clase 3 ( $\pm$ .5%)

Finalmente el contador de energía se trata de un contador de energía térmica estático Superstatic 440 con cabeza electrónica Supercal 531 SEDICAL para control de las aportaciones solares. Las características del mismo son las siguientes:

- Cabeza electrónica de medición con pantalla LCD
- Memoria EEPROM imborrable, alimentado por batería
- Caudal Nominal 6 m3/h.
- DN 25
- Error en la medida: Clase metrologica EN 1434 Clase 3 ( $\pm$ .5%)



**Imagen 21.4:** Contadores de energía solar.

## 22. Anexo X. Listado de normas CEN

SECCION 1: CALCULO DEL USO GLOBAL DE ENERGIA EN LOS EDIFICIOS							
ALCANCE	NUMERO	PARTE	SECCION	AÑO	TITULO	PARTE	SECCION
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	

SECCION 2: CALCULO DE LA ENERGIA SUMINISTRADA							
ALCANCE	NUMERO	PARTE	SECCION	AÑO	TITULO	PARTE	SECCION
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	
UNE EN	15243			2007	Ventilación de edificios	Cálculo de la temperatura de recintos, de las cargas y de la energía para los edificios con sistemas de acondicionamiento de recintos	



<b>SECCION 2: CALCULO DE LA ENERGIA SUMINISTRADA</b>							
<b>ALCANCE</b>	<b>NUMERO</b>	<b>PARTE</b>	<b>SECCION</b>	<b>AÑO</b>	<b>TITULO</b>	<b>PARTE</b>	<b>SECCION</b>
UNE EN	15316	1		2006	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	2006	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	2006	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

SECCION 2: CALCULO DE LA ENERGIA SUMINISTRADA							
ALCANCE	NUMERO	PARTE	SECCION	AÑO	TITULO	PARTE	SECCION
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 para calefacción de locales, 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 para calefacción de locales, 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	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	2006	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	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 4-8: Calentadores de aire
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

<b>SECCION 2: CALCULO DE LA ENERGIA SUMINISTRADA</b>							
<b>ALCANCE</b>	<b>NUMERO</b>	<b>PARTE</b>	<b>SECCION</b>	<b>AÑO</b>	<b>TITULO</b>	<b>PARTE</b>	<b>SECCION</b>
UNE EN	15377	2		2008	Sistemas de calefacción en los edificios	Diseño de sistemas empotrados de calefacción y refrigeración por agua	Parte 2: Diseño, dimensionado e instalación
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

<b>SECCION 3: CALCULO DE LAS NECESIDADES DE ENERGIA PARA CALEFACCION Y REFRIGERACION</b>							
<b>ALCANCE</b>	<b>NUMERO</b>	<b>PARTE</b>	<b>SECCION</b>	<b>AÑO</b>	<b>TITULO</b>	<b>PARTE</b>	<b>SECCION</b>
UNE EN ISO	13790			2008	Eficiencia energética de los edificios	Cálculo del consumo de energía para calefacción y refrigeración de locales (ISO 13790:2008)	
UNE EN	15255			2006	Eficiencia energética de los edificios	Cálculo de la carga de refrigeración sensible de un recinto. Criterios generales y procedimientos de validación	
UNE EN	15265			2005	Eficiencia energética de los edificios	Cálculo de las necesidades energéticas para calefacción y refrigeración de locales empleando métodos dinámicos. Criterios generales y procedimiento de validación	

SECCION 4 A: PRESTACIONES TERMICAS DE LOS COMPONENTES DE LOS EDIFICIOS							
ALCANCE	NUMERO	PARTE	SECCION	AÑO	TITULO	PARTE	SECCION
UNE EN ISO	6946			2005	Componentes y elementos para la edificación	Resistencia térmica y transmitancia térmica. Método de cálculo (ISO 6946:2007)	
UNE EN ISO	10077	1		2001	Comportamiento térmico de ventanas, puertas y persianas	Cálculo de la transmitancia térmica	Parte 1: Generalidades
UNE EN ISO	10077	2		2008	Comportamiento térmico de ventanas, puertas y persianas	Cálculo de la transmitancia térmica	Parte 2: Método numérico para los marcos (ISO 10077-2:2003)
UNE EN ISO	10211			2002	Puentes térmicos en la edificación	Flujos térmicos y temperaturas de superficie. Cálculos detallados (ISO 10211:2007)	
UNE EN ISO	10456			2001	Propiedades higrotérmicas. Tablas de valores de concepción y procedimientos para la determinación de los valores térmicos declarados y de concepción (ISO 10456:2007)		
UNE EN ISO	13370			1999	Eficiencia térmica de los edificios	Transferencia de calor por el suelo. Métodos de cálculo (ISO 13370:2007)	
UNE EN ISO	13786				Comportamiento térmico de los componentes de los edificios	Características térmicas dinámicas. Métodos de cálculo (ISO 13786:2007)	
UNE EN ISO	13789			2001	Comportamiento térmico de edificios	Coefficientes de transferencia de calor por transmisión y ventilación. Método de cálculo (ISO 13789:2007)	
UNE EN	13947				Prestaciones térmicas de las fachadas ligeras	Cálculo de la transmitancia térmica	
UNE EN ISO	14683			2000	Puentes térmicos en la edificación	Transmitancia térmica lineal. Método simplificado y valores por defecto (ISO 14683:2007)	

SECCION 4 B: VENTILACION E INFILTRACION DEL AIRE							
ALCANCE	NUMERO	PARTE	SECCION	AÑO	TITULO	PARTE	SECCION
UNE EN	13465			2004	Ventilación de edificios	Métodos de cálculo para la obtención del caudal de aire en viviendas	
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 edificios	Métodos de cálculo para la determinación de las calificaciones de los caudales de aire en edificios, incluyendo la infiltración en los edificios comerciales	

SECCION 4 C: SOBRECALENTAMIENTO Y PROTECCION SOLAR							
ALCANCE	NUMERO	PARTE	SECCION	AÑO	TITULO	PARTE	SECCION
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				Comportamiento térmico de edificios	Cálculo de temperaturas interiores en verano de un local sin refrigeración mecánica. Criterios generales y métodos de validación (ISO 13791:2004)	
UNE EN ISO	13792				Comportamiento térmico de edificios	Cálculo de temperaturas interiores en verano de un local sin refrigeración mecánica. Métodos simplificados (ISO 13792:2005)	

SECCION 4 D: CONDICIONES INTERIORES Y CLIMA EXTERIOR							
ALCANCE	NUMERO	PARTE	SECCION	AÑO	TITULO	PARTE	SECCION
CR	1752			1998	Ventilación de edificios	Criterios de diseño para el ambiente exterior	
UNE EN	15251			2008	Parámetros del ambiente interior a considerar para el diseño y la evaluación del comportamiento energético de edificios incluyendo la calidad del aire exterior, 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 venereológicos simples (ISO 15927-1:2003)
UNE EN ISO	15927	2			Comportamiento higrotérmico de edificios	Cálculo y presentación de datos climáticos	Parte 2: Datos horarios para el diseño de la carga de refrigeración (ISO/DIS 15927-2:2007)
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			Comportamiento higrotérmico de edificios	Cálculo y presentación de datos climáticos	Parte 4: Datos para la evaluación de la energía anual utilizada en calefacción y refrigeración (ISO 15927-4:2005)
UNEEN ISO	15927	5			Comportamiento higrotérmico de edificios	Cálculo y presentación de datos climáticos	Parte 5: Datos para el diseño de la carga térmica de calefacción (ISO 15927-5:2004)
UEN EN ISO	15927	6			Comportamiento higrotérmico de edificios	Cálculo y presentación de datos climáticos	Parte 6: Diferencias acumuladas de temperatura (en grados por día) (ISO 15927-6:2007)

SECCION 4E: DEFINICIONES Y TERMINOLOGIA							
ALCANCE	NUMERO	PARTE	SECCION	AÑO	TITULO	PARTE	SECCION
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	

SECCION 5: MONITORIZACION Y VERIFICACION							
ALCANCE	NUMERO	PARTE	SECCION	AÑO	TITULO	PARTE	SECCION
UNE EN ISO	12569			2002	Aislamiento térmico de edificios	Determinación del cambio de aire en edificios. Método de dilución de gas trazador (ISO 12569:2000)	
UNE EN	12599			2004	Ventilación de edificios	Procedimiento de ensayo y métodos 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				Aislamiento térmico	Determinación de la estanqueidad al aire en edificios. Método de presurización por medio de ventilador (ISO 9972:1996, modificada)	
UNE EN	15239			2007	Ventilación de edificios	Eficiencia energética de edificios. Directrices para la inspección de sistemas de ventilación	
UNE EN	15240			2008	Ventilación de edificios	Eficiencia energética de 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, Límites del sistema. Medidas	

## 23. Bibliografía

### 23.1. Capítulo 1

[1.1] DIRECTIVA 2002/91/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 16 de diciembre de 2002 relativa a la eficiencia energética de los edificios

[1.2] DIRECTIVA 2010/31/UE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 19 de mayo de 2010 relativa a la eficiencia energética de los edificios (refundición)

[1.3] DIRECTIVA 2012/27/UE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 25 de octubre de 2012 relativa a la eficiencia energética, por la que se modifican las Directivas 2009/125/CE y 2010/30/UE, y por la que se derogan las Directivas 2004/8/CE y 2006/32/CE

[1.4] UNE 216501:2009 Auditorías energéticas. Requisitos.

[1.5] 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.

### 23.2. Capítulo 2 y anexo I (capítulo 13)

[2.1] Estrategia de Ahorro y Eficiencia Energética en España 2004-2012 (E4).

[2.2] Planes de Acción 2005-2007 (mecanismo de cooperación diseñado entre la Administración General del Estado y las Comunidades Autónomas).

[2.3] Plan de Energías Renovables 2005-2010.

[2.4] Plan de Acción 2008-2012 de la Estrategia de Ahorro y Eficiencia Energética en España.

[2.5] Plan de Activación del Ahorro y la Eficiencia Energética 2008-2011. Iniciativa del Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, a través de la Secretaría de Estado de Energía.

[2.6] Plan Estatal de Vivienda y Rehabilitación 2009-2012.

[2.7] Plan de Intensificación del Ahorro y la Eficiencia Energética.

[2.8] Ley 2/2011, de 4 de marzo, de Economía Sostenible.

[2.9] Plan de Acción de Ahorro y Eficiencia Energética 2011-2020.

[2.10] Plan de Energías Renovables 2011-2020.

[2.11] Ley 1/2012 de 10 de mayo, de Medidas Urgentes de Impulso a la Implantación de Actuaciones Territoriales Estratégicas

[2.12] Programa BiomCASA Programa piloto para el impulso de la biomasa como fuente energética en instalaciones térmicas en edificios.

[http://www.idae.es/index.php/mod.documentos/mem.descarga?file=/documentos\\_BIOMCASA\\_Inf.\\_Tecnico\\_0e7abd67.pdf](http://www.idae.es/index.php/mod.documentos/mem.descarga?file=/documentos_BIOMCASA_Inf._Tecnico_0e7abd67.pdf)

[2.13] RITE (Reglamento de Instalaciones Térmicas de los Edificios) aprobado por el RD 1027/2007 de 19 de enero.

[2.14] Documento de coeficientes de paso de CO<sub>2</sub> editado por el Ministerio de Industria, Energía y Turismo.

[2.15] Directiva 2009/28/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 23 de abril de 2009 relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables y por la que se modifican y se derogan las Directivas 2001/77/CE y 2003/30/CE



- [2.16] Directiva 2006/32/CE del Parlamento europeo y del Consejo de 5 de abril de 2006 sobre la eficiencia del uso final de la energía y los servicios energéticos.
- [2.17] Energy Information Administration. Measuring Energy Efficiency in the United States Economy: A beginning. Octubre 2005. [www.eia.doe.gov/emeu/efficiency](http://www.eia.doe.gov/emeu/efficiency)
- [2.18] TESIS DOCTORAL. Metodología de análisis de eficiencia energética de sistemas de climatización. Aplicación a edificios del sector terciario. Luis Pérez-Lombard Martin de Oliva. Sevilla, mayo 2008.
- [2.19] RD 47/2007 de 19 de enero, por el que se aprueba el Procedimiento básico para la certificación de eficiencia energética de edificios de nueva construcción
- [2.20] Ministerio de Industria, Turismo y Energía [www.minetur.gob.es](http://www.minetur.gob.es)
- [2.21] Real Decreto 661/2007, de 25 de mayo, por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial.
- [2.22] REGLAMENTO DELEGADO (UE) N°626/2011 DE LA COMISIÓN de 4 de mayo de 2011 por el que se complementa la Directiva 2010/30/UE del Parlamento Europeo y del Consejo en lo que respecta al etiquetado energético de los acondicionadores de aire
- [2.23] RD 314/2006 de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación
- [2.24] DTIE 7.03: Entrada de datos a los programas LIDER y CALENER VyP. Arcadio García Lastra, Antonio García Laespada, Víctor Soto Francés y José Manuel Pinazo. ISBN: 978-84-95010-26-1 Depósito Legal: M-36274-2008
- [2.25] DTIE 7.06: Procedimientos simplificados para la certificación de viviendas de nueva construcción: CERMA, Ce2 y Ces. Arcadio García Lastra. ISBN: 978-84-95010-45-2 Depósito Legal M-49235-2011
- [2.26] I congreso de edificios de energía casi nula (EECN). 7 y 8 de mayo de 2012. Auditorio de IFEMA. Madrid
- [2.27] Instituto Nacional de Estadística
- [2.28] DIRECTIVA 2010/31/UE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 19 de mayo de 2010 relativa a la eficiencia energética de los edificios (refundición)
- [2.29] Real Decreto 233/2013, de 5 de abril, por el que se regula el Plan Estatal de fomento del alquiler de viviendas, la rehabilitación edificatoria, y la regeneración y renovación urbanas, 2013-2016
- [2.30] Ley 8/2013, de 26 de junio, de rehabilitación, regeneración y renovación urbanas.
- [2.31] UNE-EN 14825:2012 Acondicionadores de aire, enfriadoras de líquido y bombas de calor con compresor accionado eléctricamente para la calefacción y la refrigeración de locales. Ensayos y clasificación en condiciones de carga parcial y cálculo del rendimiento estacional.
- [2.32] UNE-EN 12309-1:2000 Acondicionadores de aire y/o bombas de calor de absorción y adsorción que utilizan combustibles gaseosos de consumo calorífico basado en el PCI inferior o igual a 70 kW. Parte 1: Seguridad y UNE-EN 12309-2:2000 Acondicionadores de aire y/o bombas de calor de absorción y adsorción que utilizan combustibles gaseosos de consumo calorífico basado en el PCI inferior o igual a 70 kW. Parte 2: Uso racional de la energía.
- [2.33] Real Decreto 238/2013, de 5 de abril, por el que se modifican determinados artículos e instrucciones técnicas del Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios, aprobado por Real Decreto 1027/2007, de 20 de julio.
- [2.34] REAL DECRETO 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación

[2.35] Orden FOM/1635/2013, de 10 de septiembre, por la que se actualiza el Documento Básico DB-HE «Ahorro de Energía», del Código Técnico de la Edificación, aprobado por Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo

[2.36] Reglamento Delegado (UE) nº 811/2013 de la Comisión, de 18 de febrero de 2013, por el que se complementa la Directiva 2010/30/UE del Parlamento Europeo y del Consejo en lo relativo al etiquetado energético de aparatos de calefacción, calefactores combinados, equipos combinados de aparato de calefacción, control de temperatura y dispositivo solar y equipos combinados de calefactor combinado, control de temperatura y dispositivo solar.

[2.37] Reglamento Delegado (UE) nº 812/2013 de la Comisión, de 18 de febrero de 2013, por el que se complementa la Directiva 2010/30/UE del Parlamento Europeo y del Consejo en lo que respecta al etiquetado energético de los calentadores de agua, los depósitos de agua caliente y los equipos combinados de calentador de agua y dispositivo solar.

[2.38] Reglamento (UE) nº 813/2013 de la comisión de 2 de agosto de 2013 por el que se desarrolla la Directiva 2009/125/CE del Parlamento Europeo y del Consejo respecto de los requisitos de diseño ecológico aplicables a los aparatos de calefacción y a los calefactores combinados

[2.39] Reglamento (UE) nº 814/2013 de la Comisión, de 2 de agosto de 2013, por el que se aplica la Directiva 2009/125/CE del Parlamento Europeo y del Consejo en lo relativo a los requisitos de diseño ecológico para calentadores de agua y depósitos de agua caliente.

[2.40] Prestaciones medias estacionales de las bombas de calor para producción de calor en edificios.

### **23.3. Capítulo 3**

[3.1] CEN-TR 15615. Documento de paraguas. Explicación de la relación general entre las distintas normas europeas y la eficiencia energética de los edificios (EPBD)

[3.2] Metodología de análisis de eficiencia energética de sistemas de climatización. Aplicación a edificios del sector terciario por Luis Pérez-Lombard Martin de Oliva

[3.3] REAL DECRETO 47/2007, de 19 de enero, por el que se aprueba el Procedimiento básico para la certificación de eficiencia energética de edificios de nueva construcción.

[3.4] 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

[3.5] UNE EN 15603 Eficiencia energética de los edificios. Consumo global de energía y definición de las evaluaciones energéticas.

[3.6] LIDER. Aplicación informática que permite cumplir con la opción general de verificación de la exigencia de Limitación de Demanda Energética establecida en el Documento Básico de la Habitabilidad y Energía del Código Técnico de la Edificación (CTE-HE1). Patrocinada por el Ministerio de Vivienda y por el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE) [http://www.codigotecnico.org/web/recursos/aplicaciones/contenido/texto\\_0002.html](http://www.codigotecnico.org/web/recursos/aplicaciones/contenido/texto_0002.html)

[3.7] CERMA. Aplicación que permite la obtención de la calificación de la eficiencia energética en edificios de viviendas (nueva construcción y existente) para todo el territorio español, ofreciendo un estudio detallado para mejorar la calificación obtenida. Desarrollada por la Asociación Técnica Española de Climatización y Refrigeración (ATECYR) y el Instituto Valenciano de la Edificación (IVE) con la colaboración técnica del grupo FRED SOL del departamento de Termodinámica Aplicada de la Universidad Politécnica de Valencia.

<http://www.minetur.gob.es/energia/desarrollo/EficienciaEnergetica/CertificacionEnergetica/DocumentosReconocidos/Paginas/documentosreconocidos.aspx>

[3.8] CALENER. Programa informático que es una herramienta promovida por el Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, a través del IDAE, y por el Ministerio de Vivienda, que permite determinar el nivel de eficiencia energética correspondiente a un edificio. El programa consta de dos herramientas informáticas para una utilización más fácil por el usuario.

<http://www.minetur.gob.es/energia/desarrollo/EficienciaEnergetica/CertificacionEnergetica/ProgramaCalener/Paginas/DocumentosReconocidos.aspx>

[3.9] Escala de calificación energética para edificios de viviendas de nueva construcción [www.minetur.gob.es/energia/desarrollo/EficienciaEnergetica/CertificacionEnergetica/DocumentosReconocidos/Paginas/documentosreconocidos.aspx](http://www.minetur.gob.es/energia/desarrollo/EficienciaEnergetica/CertificacionEnergetica/DocumentosReconocidos/Paginas/documentosreconocidos.aspx)

[3.10] 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.

[3.11] Escala de calificación energética para edificios de viviendas existentes

[www.minetur.gob.es/energia/desarrollo/EficienciaEnergetica/CertificacionEnergetica/DocumentosReconocidos/Paginas/documentosreconocidos.aspx](http://www.minetur.gob.es/energia/desarrollo/EficienciaEnergetica/CertificacionEnergetica/DocumentosReconocidos/Paginas/documentosreconocidos.aspx)

## **23.4. Capítulo 4**

[4.1] UNE EN 15316-1. Sistemas de calefacción en los edificios. Método para el cálculo de los requisitos de energía del sistema y de la eficiencia del sistema. Parte 1: Generalidades

[4.2] UNE EN 15603. Eficiencia energética de los edificios. Consumo global de energía y definición de las evaluaciones energéticas.

[4.3] REAL DECRETO 1.027/2007, de 20 de julio. BOE 207. Miércoles 29 de agosto de 2007. Corrección de errores: BOE 51. Jueves 28 de febrero de 2008. Modificación REAL DECRETO 1826/2009 de 27 de noviembre. BOE 298. Viernes 11 de diciembre de 2009. Corrección de errores: BOE 38. Viernes 12 de febrero de 2010. Modificación REAL DECRETO 238/2013 de 5 de abril.

[4.4] La electricidad en el confort térmico de los locales. Calefacción Eléctrica. Instituto Eduardo Torroja de la Construcción y del Cemento (IETCC).

[4.5] Documento de condiciones de aceptación de Procedimientos Alternativos-Anexo VI (2007).

[4.6] Coeficientes de paso de emisiones de CO<sub>2</sub> y consumo de energía primaria para soluciones alternativas del RITE

[4.7] DTIE 7.03: Entrada de datos a los programas LIDER y CALENER VyP. Arcadio García Lastra, Antonio García Laespada, Víctor Soto Francés y José Manuel Pinazo. ISBN: 978-84-95010-26-1 Depósito Legal: M-36274-2008

[4.8] DTIE 7.04: Entrada de datos al programa CALENER GT. Arcadio García Lastra, Antonio García Laespada, Víctor Soto Francés y José Manuel Pinazo. ISBN: 978-84-95010-32-1 Depósito Legal: M-36275-2010

## **23.5. Capítulo 5 y anexo VI (capítulo 18)**

[5.1] 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.

[5.2] 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.

[5.3] 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).

[5.4] 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.

[5.5] UNE-EN 1264. Calefacción por suelo radiante. Sistemas y componentes:

- Parte 1: Definiciones y símbolos.
- Parte 2: Suelo radiante: Métodos para la determinación de la emisión térmica de los suelos radiantes por cálculo y ensayo.
- Parte 3: Dimensionamiento.
- Parte 4: Instalación.
- Parte 5: Suelos, techos y paredes radiantes. Determinación de la emisión térmica.

[5.6] UNE-EN 60675. Aparatos electrodomésticos de calentamiento de locales por acción directa. Métodos de medida de la aptitud para la función.

[5.7] UNE-EN 215. Válvulas termostáticas para radiadores. Requisitos y métodos de ensayo.

[5.8] UNE-EN 15500. Regulación para aplicaciones de calefacción, ventilación y climatización. Equipo electrónico individual de regulación de zona.

[5.9] Principios básicos de las calderas de condensación.

[5.10] 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).

[5.11] 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 para calefacción de locales, sistemas de combustión de biomasa.

[5.12] 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 para calefacción de locales, sistemas solares térmicos.

[5.13] Guía técnica selección de equipos de transporte de fluidos. Bombas y ventiladores.

[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 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 Calderas de calefacción. Parte 5: Calderas especiales para combustibles sólidos, de carga manual y automática y potencial útil nominal hasta 300 kW. Terminologías, requisitos, ensayos y marcado.

[5.18] UNE EN 304 Calderas de calefacción. Reglas de ensayo par a las calderas con quemadores de combustibles líquidos por pulverización. (Versión oficial EN 304,1992.)

- [5.19] UNE EN 656 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 Calderas de calefacción. Calderas de calefacción de condensación para combustibles líquidos.
- [5.21] UNE EN 15035 Calderas de calefacción. Requisitos especiales para calderas estancas alimentadas por combustibles líquidos de hasta 70 kW
- [5.22] UNE EN 15456 Calderas de calefacción. Consumo de energía eléctrica para generadores de calor. Límites del sistema. Medidas.
- [5.23] 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: Sistemas de agua caliente sanitaria, generación.
- [5.23] UNE-EN 15456. Calderas de calefacción. Consumo de energía eléctrica para generadores de calor. Límites del sistema. Medidas.
- [5.24] UNE EN 483/A2 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 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 15043
- [5.27] UNE EN ISO 15378 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)
- [5.28] 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
- [5.29] RD 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.
- [5.30] RITE (Reglamento de Instalaciones Térmicas de los Edificios) aprobado por el RD 47/2007 de 19 de enero.
- [5.31] DTIE 11.02 Regulación y control de Instalaciones de Climatización. José Manuel Bartolomé Martín y Migue Ángel Naas Martín ISBN: 978-84-95010-36-0 Depósito Legal: M-36336-2010
- [5.32] Borrador de la Guía de Ahorro Energético *Medidas de ahorro energético en los circuitos hidráulicos*
- [5.33] Catálogo de Elementos Constructivos del Código Técnico de la Edificación [http://www.codigotecnico.org/web/recursos/aplicaciones/contenido/texto\\_0012.html](http://www.codigotecnico.org/web/recursos/aplicaciones/contenido/texto_0012.html)

## 23.6. Capítulo 6

- [6.1] 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
- [6.2] EN 12897 Abastecimiento de agua. Especificaciones para los calentadores de agua de acumulación por calentamiento indirecto sin ventilación (cerrados).

[6.3] UNE EN 13203-2 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.

[6.4] 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: Sistemas de agua caliente sanitaria, distribución.

[6.5] Norma 15316-3-1 Sistemas de calefacción en los edificios. Método para el cálculo de los requisitos de energía del sistema y de la eficiencia del sistema. Parte 3-1: Sistemas de agua caliente sanitaria, caracterización de necesidades (requisitos de acometida).

[6.6] UNE EN 304 Calderas de calefacción. Reglas de ensayo para las calderas con quemadores de combustibles líquidos por pulverización.

[6.7] EN 297 Calderas de calefacción central que utilizan combustibles gaseosos. Calderas del tipo B equipadas con quemadores atmosféricos, cuyo consumo calorífico nominal es igual o inferior a 70 kW,

[6.8] EN 483, EN 656, EN 483 Calderas de calefacción central que utilizan combustibles gaseosos. Calderas de los tipos C cuyo consumo calorífico nominal es igual o inferior a 70 kW. EN 656 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.

[6.9] EN 625 (para calderas mixtas) o la Norma; 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.

[6.10] UNE EN 677 (para calderas de condensación). 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

[6.11] prEN 50440 Eficiencia de los nacionales de almacenamiento eléctrico calentadores de agua; versión alemana prEN 50440:2005

[6.12] RITE ULTIMA MODIFICACION Resolución de la Secretaría de Estado de Energía por la que se acuerda la apertura del trámite de audiencia a los interesados en la elaboración del Proyecto de Real Decreto por el que se modifican determinados artículos e instrucciones técnicas del Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios, aprobado por Real Decreto 1027/2007, de 20 de julio.

[6.13] 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

## **23.7. Capítulo 7**

[7.1] 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.

[7.2] Proyecto de sistemas térmicos-solares por el método de las curvas-f. Willian A. Beckman, Sanford A. Klein y John A. Duffie. ISBN 84-7087-222-2. Traducción realizada por Atecyr, Manuel Macias e Higinio Guillamon. Coordinación Carlos Asin

[7.3] Norma EN 12975-2 Sistemas solares térmicos y componentes. Captadores solares. Parte 2: Métodos de ensayo.

[7.4] ENV 12977-3 Sistemas solares térmicos y sus componentes. Custom sistemas construidos. Rendimiento caracterización de las tiendas para instalaciones solares

## **23.8. Capítulo 8 y anexo II (capítulo 14)**

[8.1] Directiva 2002/91/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 16 de diciembre de 2002 relativa a la eficiencia energética de los edificios.

[8.2] Directiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo y del Consejo de 19 de mayo de 2010 relativa a la eficiencia energética de los edificios.

[8.3] Directiva 2006/32/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 5 de abril de 2006 sobre la eficiencia del uso final de la energía y los servicios energéticos y por la que se deroga la Directiva 93/76/CEE del Consejo.

[8.4] Real Decreto 314/2006 de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación.

[8.5] Real Decreto 47/2007 de 19 de enero, por el que se aprueba el Procedimiento básico para la certificación de eficiencia energética de edificios de nueva construcción.

[8.6] Real Decreto 1027/2007 de 20 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios.

[8.7] 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.

[8.8] DTIE 7.03: Entrada de datos a los programas LIDER y CALENER VyP. Arcadio García Lastra, Antonio García Laespada, Víctor Soto Francés y José Manuel Pinazo. ISBN: 978-84-95010-26-1 Depósito Legal: M-36274-2008.

[8.9] NBE CT-79 Condiciones térmicas en los edificios.

[8.10] REGLAMENTO DELEGADO (UE) N o 244/2012 DE LA COMISIÓN de 16 de enero de 2012 que complementa la Directiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, relativa a la eficiencia energética de los edificios.

[8.11] Ponencia Sesión Magistral “El Código Técnico de la Edificación y los Edificios de Consumo de Energía Casi Nula” Javier Serra. Ministerio de Fomento.

[8.12] DIRECTIVA 2012/27/UE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 25 de octubre de 2012 relativa a la eficiencia energética, por la que se modifican las Directivas 2009/125/CE y 2010/30/UE, y por la que se derogan las Directivas 2004/8/CE y 2006/32/CE.

[8.13] Real Decreto 238/2013, de 5 de abril, por el que se modifican determinados artículos e instrucciones técnicas del Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios, aprobado por Real Decreto 1027/2007, de 20 de julio.

[8.14] DTIE 7.04: Entrada de datos al programa CALENER GT. Arcadio García Lastra, Antonio García Laespada, Víctor Soto Francés y José Manuel Pinazo. ISBN: 978-84-95010-32-1 Depósito Legal: M-36275-2010.

[8.15] Metodología de análisis de eficiencia energética de sistemas de climatización. Aplicación a edificios del sector terciario por Luis-Pérez-Lombart Martín de Oliva.

## **23.9. Capítulo 10**

[10.1] Auditorias Energéticas en la Edificación. Autores: Ricardo García San José, Pedro Vicente Quiles, Arcadio García Lastra, Manuel Acosta Malia y Miguel Ángel Navas Martín. ISBN: 978-84-95010-38-4 Depósito Legal: M-48436-2010.

[10.2] Real Decreto 238/2013, de 5 de abril, por el que se modifican determinados artículos e instrucciones técnicas del Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios, aprobado por Real Decreto 1027/2007, de 20 de julio

[10.3] Calculation of the yearly energy performance of heating systems based on the European Building Energy Directive and related CEN standards. Bjarne W. Olesen (ICIEE/BYG, Technical University of Denmark, Denmark), Michele de Carli (Dipartimento di Fisica Tecnica, University of Padova, Italy). *Energy and Buildings* 43 (2011) 1040-1050.

[10.4] A Round Robin Test for buildings energy performance in Italy. Lamberto Tronchin (University of Bologna, DIENCA-CIARM, Viale Risorgimento, 2, I-40136 Bologna, BO, Italy), Kristian Fabbri (University of Bologna, Faculty of Architecture, Via Cavalcavia 55, I-47521 Cesena, FC, Italy). *Energy and Buildings* 42 (2010) 1862-1877.

[10.5] Comparison between measured and calculated energy performance for dwellings in a summer dominant environment. Paris A. Fokaides (University of Cyprus, Department of Civil and Environmental Engineering, P.O. Box 20537, Nicosia 1678, Cyprus), Christos N. Maxoulis (Cyprus Scientific and Technical Chamber, Cyprus), Gregoris P. Panayiotou (Cyprus University of Technology, Department of Mechanical Engineering and Materials Science and Engineering, Cyprus), Marina K.-A Neophytou (University of Cyprus, Department of Civil and Environmental Engineering, P.O. Box 20537, Nicosia 1678, Cyprus), Soteris A. Kalogirou (Cyprus University of Technology, Department of Mechanical Engineering and Materials Science and Engineering, Cyprus). *Energy and Buildings* 43 (2011) 3099-3105.

[10.6] Comparison between energy performance directive related CEN-STANDARDS, EU member states legislation and actual buildings consumption. (Spanish case study). Arcadio García Lastra (ATECYR, C/ Agustía 112 A, 28043 Madrid, Spain), pdD. Victor Manuel Soto Frances (Departamento de Termodinámica Aplicada. ETSII. Universidad Politécnica de Valencia. C/ Camino de Vera s/n. 46022 Valencia, Spain), PhD. Jose Manuel Pinazo Ojer (Departamento de Termodinámica Aplicada. ETSII. Universidad Politécnica de Valencia. C/ Camino de Vera s/n. 46022 Valencia, Spain). Artículo enviado a la revista *Energy and Buildings* (mayo 2014), pendiente de su aceptación.

## **23.10. Capítulo 11**

[11.1] 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.

[11.2] DTIE 10.05 Principios Básicos de las Calderas de Condensación. Arcadio García Lastra. Dirección Salvador Solsona Cortadellas ISBN: 978-84-95010-30-8 Depósito Legal: M-58629-2008.

[11.3] DTIE 11.02 Regulación y control de Instalaciones de Climatización. José Manuel Bartolomé Martín y Migue Ángel Naas Martín ISBN: 978-84-95010-36-0 Depósito Legal: M-36336-2010

[11.4] RD 1618/1980 Reglamento de Instalaciones de Calefacción, Climatización y Agua Caliente Sanitaria (RICAS)

[11.5] Documento Reconocido por la Certificación Energética de los edificios Escala de Calificación Energética. Edificios de nueva construcción.

[11.6] Documento Reconocido por la Certificación Energética de los edificios Escala de Calificación Energética. Edificios existentes.

[11.7] Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE), aprobado en RD 1751/1988 de 31 de Julio.

[11.8] Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE), aprobado en RD 1027/2007 de 31 de Julio.



[11.9] Capítulo 5, bienestar térmico en el cuerpo humano del libro Fundamentos de Climatización. Arcadio García Lastra. Año 2010 ISBN: 978-84-95010-34-6.

## **23.11. Capítulo 18**

[18.1] Proyecto de climatización de 55 viviendas en Bermeo. Autor Ricardo García San José. FACTOR 4.

[18.2] Escenario de la certificación energética española y comprobación de la simulación computacional con el consumo real CONCLUSIONES. Autor: Arcadio García Lastra. Año 2009.

## **23.12. Capítulo 20**

[20.1] Escenario de la certificación energética española y comprobación de la simulación computacional con el consumo real CONCLUSIONES. Autor: Arcadio García Lastra. Año 2009.

[20.2] Proyecto de climatización de 55 viviendas en Bermeo. Autor Ricardo García San José. FACTOR 4.

[20.3] Documento Básico de Ahorro de Energía sección 1 limitación de la Demanda de Energía de Código Técnico de la Edificación.

[20.4] DTIE 7.03: Entrada de datos a los programas LIDER y CALENER VyP. Arcadio García Lastra, Antonio García Laespada, Víctor Soto Francés y José Manuel Pinazo. ISBN: 978-84-95010-26-1 Depósito Legal: M-36274-2008

[20.5] Proyecto de climatización de reforma de bloque de viviendas de San Fernando. Autor Ricardo García San José. FACTOR 4.

