

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA
DEPARTAMENTO DE
TERMODINÁMICA APLICADA



ANÁLISIS Y PROPUESTA DE UN NUEVO MÉTODO
DE SIMULACIÓN ABREVIADO PARA LA
CERTIFICACIÓN ENERGÉTICA EN EDIFICIOS
RESIDENCIALES

TESIS DOCTORAL

Autor: Edwin Víctor Lamas Sivila

Director: Dr. Ing. Víctor Manuel Soto Francés

**Valencia - España
Mayo 2011**

Dedicatoria

A mi esposa Wara Eugenia,

a mis padres Emilio y Guillermina,

a mis hermanos Miriam, Hugo y Pamela

Agradecimiento

- Deseo brindar mis más sinceros agradecimientos a los miembros del Grupo FREDSOL a José Manuel Pinazo Ojer, Antonio García, Guillermo Pichetto y a Emilio Sarabia, por darme la oportunidad de ser parte del grupo.

Un agradecimiento muy especial a don Víctor Soto Francés, director de la tesis doctoral, gracias por su paciencia, sabiduría y su visión experta en la dirección de este trabajo.

Sin la colaboración de todos no iba a ser posible culminar este trabajo. A todos les quedo eternamente agradecido.

- También agradecerles a todos los componentes del Departamento de Termodinámica Aplicada por su apoyo y estímulo dentro el departamento.
- Por ultimo, no por ello menos importante agradecer a mi familia, en primer lugar a mi esposa Wara Eugenia deseo brindarle mis más sinceros agradecimiento, quien para mí fue la persona que más paciencia tuvo en estos muchos años de mi estancia en España, es la persona que con su apoyo incondicional, sonrisas y cariño supo aligerar y aminorar estos largos años de estudio. También a mis padres y hermanos que en su momento comprendieron en gran paso que daba al cruzar el charco por su apoyo y estímulo muchas gracias.

Resumen Tesis Doctoral

Los compromisos asumidos por España, junto con la Unión Europea, con la entrada en vigor del protocolo de Kioto y el compromiso de Montreal son la reducción de las emisiones de CO_2 fósil emitidas al ambiente. Una de las principales fuentes de emisión de CO_2 tiene su origen en la necesidad de climatizar los edificios (calefacción, refrigeración y ACS). Con esta finalidad España establece el Real Decreto RD 47/ 2007 de certificación energética en edificios de nueva construcción, cuya finalidad es informar sobre las emisiones de CO_2 fósil emitidos por los edificios. Para determinar la etiqueta energética, se ponen a disposición de los técnicos, métodos generales de certificación, implementados en los programas CALENER VYP y CALENER-GT. Estos programas realizan una simulación del edificio, determinando las demandas y consumos de energía de los mismos. A partir de coeficientes de paso (conversión de energía a emisiones de CO_2) se calcula la calificación energética del edificio.

En este trabajo se propone un método alternativo al programa oficial (CALENER VYP) de certificación energética dirigida a edificios del tipo residencial. Este método es abreviado, pero realiza una simulación del edificio similar a los métodos generales. Como ventajas presenta un cálculo rápido, la fácil entrada de datos y los resultados permiten evaluar el impacto de distintas alternativas en las características del edificio, ayudando a profesionales a mejorar el diseño de los mismos.

El método propuesto en la simulación utiliza factores de respuesta para determinar los fenómenos de transferencia por conducción. Para contabilizar el intercambio energético entre los cerramientos interiores de la zona, el método aplica como una aproximación el método de las series temporales radiantes "Radiant Time Series". La validez de la aproximación ha sido evaluada comparando con el programa EnergyPlus. Programa que utiliza para el cálculo el método del balance.

La EPDB (Energy Perfomance in Buildings Directive EU) - recast (2010) señala "*los edificios de nueva construcción deberían tener cero o casi nulo consumo de energía*". Por tanto en este trabajo también se evalúa la repercusión de la certificación energética por el uso de sistemas no convencionales en la certificación. El sistema considerado como no convencional, es una máquina de absorción de simple efecto LiBr-H₂O que está directamente conectado a los captadores solares, que generan tanto frío (equipo de absorción) como calor (agua caliente producida por los captadores solares).

Como resultado de una amplia comparación se concluye que el programa propuesto no tiene desviaciones considerables respecto al programa oficial. Estas comprobaciones tienen en cuenta las distintas zonas climáticas de España y diferentes tipologías de edificios.

Al momento de escribir la tesis doctoral, por comunicación privada del Ministerio de Industria Turismo y Comercio, nos informaron que el software ha pasado los controles pertinentes. Actualmente es documento reconocido, válido para toda España.

Summary of PhD Thesis

One of the commitments taken on by Spain, together with the European Union about the Kyoto Protocol is the reduction of fossil CO_2 emissions released into the environment. One of the main sources of CO_2 emissions comes from the need for air conditioned buildings (due to the heating, cooling and domestic hot water). Spain published a Royal Decree RD 47 / 2007 on energy certification of buildings regulating CO_2 emissions and determining the energy class of new buildings. To determine the energy label the reference methods are implemented in the official programs: CALENER VYP and CALENERGT. These programs perform a simulation of the buildings, determining the energy demand and consumption and from CO_2 conversion factors the energy rating of the building is obtained.

This thesis proposes an alternative to the official program CALENER VYP (energy certification of the residential and small tertiary buildings). The proposed method is not time-consuming and the simulation results are similar to the CALENER VYP. Among its practical advantages and features are that the input of data is user-friendly and the results show the impact of different saving alternatives which help the professional to improve the designed building.

The simulation method proposed uses the response factors to determine the conduction heat transfer phenomena. To get to the energy transfer rate to the inside air the method "Radiant Time Series" (RTS) has been employed as an approach. The validity of the approximation has been tested against the EnergyPlus which uses an energy balance method.

The EPDB (Energy Performance in Buildings Directive EU) -recast (2010) points out the need to move onto Near Zero Energy Buildings. Therefore the thesis also tries to get an estimation of the impact of unconventional renewable energy systems on the certification. The system considered unconventional, is a single effect absorption chiller $H_2O-LiBr$, that is directly connected to solar panels that generate both cooling (at the absorption unit) and heat (at the solar collectors).

As a result of an extensive comparison, it is concluded that the proposed software has no significant deviations compared to the official program. These tests have taken into account the different climatic zones of Spain and different types of buildings.

At the time of writing, in a private communication, the Ministry Industry, Tourism and Commerce has said that the software has passed all the controls and that it will become. It is currently recognized document, valid for Spain.

Resum de Tesis Doctoral

Els compromisos assumits per Espanya, juntament amb la Unió Europea, amb l'entrada en vigor del protocol de Kyoto i el compromís de Mont-real són la reducció de les emissions de CO_2 fòssil emeses a l'ambient. Una de les principals fonts d'emissió de CO_2 té el seu origen en la necessitat de climatitzar els edificis (calefacció, refrigeració i ACS). Amb aquesta finalitat Espanya estableix el Reial Decret RD 47/2007 de certificació energètica en edificis que regula les emissions de CO_2 i determina la classe energètica dels edificis de nova construcció. Per determinar l'etiqueta energètica es posa a disposició mètodes generals de certificació, implementats en els programes CALENER VYP i CALENERGT. Aquests programes realitzen una simulació de l'edifici, determinant les demandes i consums d'energia d'aquests. I a partir de coeficients de pas (conversió d'energia a emissions de CO_2) s'emet la qualificació energètica de l'edifici.

En aquest treball es proposa un mètode alternatiu al programa oficial (CALENER VYP) de certificació energètica dirigida a edificis del tipus residencial. Aquest mètode és abreujat, però realitza una simulació de l'edifici similar als mètodes generals. Com avantatges presenta un càlcul ràpid, la fàcil entrada de dades i els resultats permet avaluar l'impacte de diferents alternatives en les característiques de l'edifici, ajudant a professionals millorar el disseny dels edificis.

El mètode proposat en la simulació utilitza factors de resposta per determinar els fenòmens de transferència per conducció. Per comptabilitzar l'intercanvi energètic entre els tancaments interiors de la zona, el mètode s'aplica com una aproximació al mètode de les sèries temporals radiants "Radiant Time Series". La validesa de l'aproximació ha estat avaluat comparant amb el programa EnergyPlus. Programa que s'utilitza per al càlcul el mètode del balanç.

El EPDB ((Energy Performance in Buildings Directive EU)-recast (2010) asenyala "els edificis de nova construcció haurien de tenir zero o gairebé nul consum d'energia". Per tant en aquest treball també s'avalua la repercussió de la certificació energètica pel ús de sistemes no convencionals en la certificació. El sistema com a no convencional, és una màquina d'absorció de simple efecte LiBr-H₂O que està directament connectats a captadors solars, que generen tant fred (equip d'absorció) com a calor (aigua calenta produït pels captadors solars).

Com a resultat d'una àmplia comparació es conclou que el programa proposat no té desviacions considerables respecte al programa oficial. Aquestes comprovacions tenen en compte les diferents zones climàtiques d'Espanya i diferents tipologies d'edificis.

Al moment d'escriure la tesi doctoral, per comunicació privada del Ministeri d'Indústria Turisme i Comerç, ens van informar que el programari ha passat els controls pertinents. Actualment és document reconegut, vàlid per a tot Espanya.

Índice general

1. Introducción	1
1.1. Introducción	1
1.2. Objetivos y metodología	3
1.3. Contenido	4
2. Modelos de estimación de energía	7
2.1. Método de los Grados-día (GD)	7
2.1.1. Aplicación del método de los grados día	9
2.1.1.1. Calefacción	9
2.1.1.2. Agua caliente sanitaria (ACS)	9
2.2. Método Binario	11
2.3. Métodos generales de cálculo de demanda de energía	13
2.4. Método del balance de energía	13
2.5. Método de las series temporales radiantes	15
3. Métodos de certificación energética	23
3.1. Métodos de certificaciones existentes	23
3.2. CALENER VYP	25
3.3. Opción simplificada de certificación CE1	27
3.4. CE2 Certificación Energética de edificios de viviendas	29
3.5. CES Certificación Energética Simplificada	30
3.6. Ventajas e inconvenientes entre los diferentes programas de certificación energética	32
4. Método abreviado de certificación energética	33
4.1. Hipótesis	34
4.2. Cálculo de la demanda de calefacción y refrigeración	36
4.2.1. Transferencia por cerramientos opacos	36
4.2.1.1. Muro exteriores	39
4.2.1.2. Muro a otro local no acondicionado	48
4.2.1.3. Muro al terreno	50
4.2.1.4. Muro adiabático	55
4.2.1.5. Caso de los techos. Techo exterior	58
4.2.1.6. Techo a otro local no acondicionado	60
4.2.1.7. Techo adiabático	60

4.2.1.8.	Caso de suelos. Suelo exterior	61
4.2.1.9.	Suelo a otro local no acondicionado	64
4.2.1.10.	Suelo a vacío sanitario	64
4.2.1.11.	Suelo al terreno	65
4.2.1.12.	Suelo adiabático	68
4.2.1.13.	Cerramientos Interiores	68
4.2.1.14.	Caso de muebles	74
4.2.2.	Transferencia por puentes térmicos	76
4.2.3.	Transferencia de calor por huecos	79
4.2.3.1.	Conducción	79
4.2.3.2.	Radiación	81
4.2.4.	Transferencia por infiltración y ventilación	88
4.2.4.1.	Cálculo del caudal de aire infiltrado	88
4.2.4.2.	Condiciones del aire	92
4.2.4.3.	Transferencia por ventilación	93
4.2.5.	Transferencia por ocupación	94
4.2.6.	Transferencia por iluminación	94
4.2.7.	Transferencia por equipos	94
4.2.8.	Variación de energía interna del aire del local	95
4.3.	Balance de energía	95
4.4.	Demanda y consumo de ACS	98
5.	Caracterización de los sistemas y equipos	101
5.1.	Calderas de ACS	102
5.2.	Calderas de calefacción	104
5.2.1.	Radiadores eléctricos	106
5.3.	Equipos compresión aire-aire sólo frío	107
5.4.	Equipos compresión bomba de calor aire-aire	112
5.5.	Equipos de expansión directa aire-agua bomba de calor	114
5.6.	Equipos con rendimiento estacional equivalente conocido	119
5.7.	Sistemas y equipos por defecto en el edificio	119
6.	Validación del Método	121
6.1.	Análisis de fiabilidad del método simplificado propuesto	121
6.2.	Casos comparados. Datos de partida	121
6.2.1.	Edificios de comparación	121
6.2.2.	Sistemas diversos	122
6.2.2.1.	Sistemas de Agua caliente sanitaria	122
6.2.2.2.	Sistema multizona de calefacción con caldera convencional	122
6.2.2.3.	Sistema multizona de calefacción con caldera de baja temperatura	124
6.2.2.4.	Sistema multizona de calefacción con caldera de condensación	124
6.2.2.5.	Sistema de rendimiento constante	125

6.2.2.6.	Sistema unizona por bomba de calor	125
6.2.2.7.	Sistema unizona por equipo de compresión solo frío (aire – aire) más caldera de baja temperatura	125
6.3.	Resultados globales obtenidos	126
6.3.1.	Demandas de calefacción y refrigeración	126
6.3.2.	Emisiones de $kgCO_2$ por metro cuadrado en edificios sin utilización de sistema alguno solo ACS	126
6.3.3.	Emisiones de $kgCO_2$ por metro en edificios, con sistemas diversos de climatización, más ACS	128
6.4.	Discusión de los resultados	130
6.4.1.	Análisis de demanda en CALENER VYP, EnergyPlus y el Programa propuesto	130
6.4.2.	Análisis de dispersión de la etiqueta energética	133
6.5.	Comparación con datos reales	133
6.5.1.	Influencia del peso de los muros y la ubicación del aislante en la calificación energética	136
6.6.	Conclusiones	141
7.	Uso de renovables en sistemas no convencionales	143
7.1.	Introducción	143
7.2.	Modelo matemático	144
7.2.1.	Planteamiento	144
7.2.2.	Modelo de los captadores solares	145
7.2.3.	Ecuación característica formulada por Ziegler para la máquina de absorción de simple efecto	146
7.2.4.	Diseño óptimo de una máquina endorreversible	150
7.2.5.	Ecuación característica de Ziegler con un diseño óptimo de máquina endorreversible	154
7.2.6.	Acoplamiento de los captadores y la máquina de simple efecto	156
7.3.	Discusión y aplicación del modelo	157
7.4.	Conclusiones	166
8.	Máquina de frío solar + simulación térmica	167
8.1.	Planteamiento	167
8.2.	Interacción entre ambos sistemas	168
8.3.	Discusión de la conexión entre ambos sistemas	169
8.3.1.	Diseño óptimo para cubrir la mayor cantidad de demanda en refrigeración del edificio	171
8.3.1.1.	Cambio de la temperatura de evaporación	172
8.3.2.	Estudio de un caso simple. Efecto de la orientación de los cristales, de la orientación de los captadores y el aislamiento del edificio	176
8.4.	Optimización del sistema de refrigeración solar	179
8.4.1.	Reducción de las emisiones de $kgCO_2/m^2$ año	184

8.4.2.	Efecto sobre la calificación energética, por el uso del sistema de refrigeración solar sobre los edificios originales	187
8.4.3.	Efecto sobre la calificación energética, mejorando el aislamiento de los edificios más el uso del acondicionamiento solar	187
8.4.4.	Reducción de la demanda total (Frío + Calor)	191
8.4.4.1.	Viviendas convencionales	195
8.4.4.2.	Viviendas aisladas	195
8.5.	Conclusiones	197
9.	Conclusiones y futuros trabajos	199
9.1.	Conclusiones	199
9.2.	Futuros trabajos	201
A.	Horarios y fuentes internas de simulación	203
A.1.	Control del termostato	203
A.2.	Ventilación	203
A.3.	Ocupantes	204
A.4.	Equipos (todo sensible)	204
A.5.	Iluminación (todo sensible)	204
B.	Escala de la calificación energética	207
C.	Descripción geométrica de los edificios	215
C.1.	Datos geométricos en los edificios oficiales de simulación	215
C.2.	Edificios que se utilizaron para validar el procedimiento simplificado existente	223
D.	Resultados DDGH para las zonas climáticas de España	225
E.	Demandas y emisiones de CO_2 por zona climáticas	239
E.1.	Demandas de calefacción	239
E.2.	Demanda de refrigeración	239
E.3.	Emisiones de $kgCO_2/m^2$ por ciudades	239

Índice de figuras

2.1. Diagrama de flujo que sigue el método RTS para el cálculo de carga térmica. (<i>Fuente:Rees et ál. 2000a</i>).	16
3.1. Etiqueta de eficiencia energética de edificios.	24
3.2. Plantilla de resultados programa CALENER VYP. <i>Fuente: CALENER VYP versión 1.0</i>	26
3.3. Aplicación informática programa O.S.E. <i>Fuente: Instituto Valencia de la Edificación (http://www.five.es)</i>	28
3.4. Procedimiento de cálculo de CE2.	29
3.5. Hoja excel plantilla Ce2 Simplificado Viviendas. <i>Fuente: (http://www.mityc.es/energia/desarrollo/EficienciaEnergetica/CertificacionEnergetica)</i>	30
3.6. Aplicación informática programa CES. <i>Fuente: Programa CES (MIYABI pag. web. http://www.miyabi.es)</i>	31
4.1. Factor de respuesta de un cerramiento opaco ante una excitación de temperatura.	37
4.2. Características de la inercia térmica ($Y(j)/U$) de diferentes muros. <i>Fuente Manual de climatización tomo II</i>	40
4.3. Características, composición y dimensiones del muro exterior normalizado.	40
4.4. Factores de respuesta Y_N , X_N , Z_N , del muro exterior normalizado.	41
4.5. Proyección de sombra de otros edificios.	44
4.6. Pantalla de introducción de datos para contabilizar las sombras del entorno. <i>Fuente: Programa CERMA</i>	45
4.7. Esquema de posibles sombras del propio edificio. <i>Fuente: Programa CERMA</i>	45
4.8. Ganancia por conducción en cerramiento opaco.	47
4.9. Características, composición y dimensiones del muro al terreno normalizado.	53
4.10. Factores de respuesta Y_N , X_N , Z_N del muro al terreno normalizado.	54
4.11. Características, composición y dimensiones del muro adiabático normalizado (considerando el espejo térmico).	56
4.12. Factores de respuesta Y_N , X_N , Z_N del muro adiabático normalizado.	57
4.13. Características composición y dimensiones del techo exterior normalizado.	58
4.14. Factores de respuesta Y_N , X_N , Z_N del techo exterior normalizado.	59

4.15. Características, composición y dimensiones del techo adiabático referencia (considerando el espejo térmico).	61
4.16. Factores de respuesta Y_N , X_N , Z_N del techo adiabático normalizado. . .	62
4.17. Características, composición y dimensiones del suelo exterior normalizado.	63
4.18. Factores de respuesta Y_N , X_N , Z_N del suelo exterior normalizado. . . .	63
4.19. Características, composición y dimensión del suelo al terreno normalizado.	69
4.20. Factores de respuesta Y , X , Z del suelo al terreno normalizado.	70
4.21. Características, composición y dimensiones del suelo adiabático de referencia.	71
4.22. Factores de respuesta Y_N , X_N , Z_N del suelo adiabático normalizado. . .	72
4.23. Factor de respuesta en el cerramiento interior.	72
4.24. Composición y característica de los cerramientos interiores normalizados.	73
4.25. Factores de respuesta Y_N , X_N , Z_N de paredes interiores normalizado. . .	73
4.26. Factores de respuesta Y , X , Z de muebles.	75
4.27. Ingreso de valores de conductancia térmica lineal. <i>Fuente: Programa CERMA.</i>	78
4.28. Coeficiente transmisión y absorción del vidrio común en función del ángulo de incidencia de la radiación. <i>Fuente Manual de climatización tomo II.</i>	82
4.29. Ganancia radiante y convectiva a través del cristal.	83
4.30. Ventana retranqueada. Angulos determinates.	86
4.31. Representación de los elementos que conforma el edificio. <i>Fuente: programa CERMA.</i>	88
4.32. Oscilación anual de la temperatura final de la zona térmica. <i>Fuente: programa de certificación energética CERMA.</i>	98
4.33. Distribución horaria del consumo de ACS.	99
5.1. Rendimiento de las calderas para agua caliente sanitaria en función del factor de carga parcial.	103
5.2. Rendimiento de las calderas de calefacción en función del factor de carga parcial.	105
5.3. Factor de corrección de la capacidad total de refrigeración en función de la temperatura húmeda interior.	108
5.4. Factor de corrección de la capacidad sensible de refrigeración en función de las temperaturas. (temperatura interior=22°C).	109
5.5. Factor corrector de la potencia consumida en función de las temperaturas.	109
5.6. Factor corrector de la potencia eléctrica consumida en función de la carga parcial de refrigeración.	110
5.7. EER del equipo de compresión solo frío en función de temperatura. . .	111
5.8. EER del equipo de compresión solo frío en función del factor de carga parcial.	111
5.9. Factor de corrección de la capacidad de calefacción de temperaturas. .	112
5.10. Factor corrector del consumo eléctrico en función de la temperatura húmeda exterior.	113

5.11. Factor corrector del consumo eléctrico versus la carga parcial de calefacción.	113
5.12. COP de la bomba de calor aire-aire versus temperatura.	114
5.13. COP de la bomba de calor aire-aire versus factor de carga parcial.	115
5.14. Factor corrector de la capacidad calorífica en función de las temperaturas.	116
5.15. Factor de corrección del consumo eléctrico en función de las temperaturas.	116
5.16. Factor corrector del consumo eléctrico versus el factor de carga parcial.	117
5.17. COP del equipo de expansión directa versus el factor de carga parcial.	118
6.1. Zonas climáticas y ciudades más representativas de España.	122
6.2. Ajuste de la demanda de calefacción. Método propuesto versus procedimiento legislativo de certificación (CALENER VYP).	127
6.3. Ajuste de la demanda de refrigeración. Método propuesto versus procedimiento legislativo de certificación (CALENER VYP).	127
6.4. Comparativa de emisiones de $kgCO_2/m^2$ entre el método propuesto respecto al procedimiento legislativo de certificación (CALENER VYP). Solo en el edificios.	128
6.5. Comparativa de emisiones de $kgCO_2/m^2$ para viviendas unifamiliares. Método propuesto versus procedimiento legislativo de certificación (CALENER VYP).	129
6.6. Comparativa de emisiones de $kgCO_2/m^2$ para viviendas en bloque. Método propuesto versus procedimiento legislativo de certificación (CALENER VYP).	129
6.7. Comparativa de emisiones de $kgCO_2/m^2$ entre el método propuesto respecto al procedimiento legislativo de certificación. En el edificios más sistemas diversos (CALENER VYP).	130
6.8. Demandas de calefacción y refrigeración horaria de un edificio en particular. Valores positivos demanda horaria de refrigeración, valores negativos demanda horaria de refrigeración. a) en el programa oficial de certificación (CALENER VYP) b) en el método propuesto de certificación c) EnergyPlus.	132
6.9. Análisis cuantitativo del valor de la etiqueta energética en referencia al programa oficial de certificación energética de España para las diferentes zonas climáticas.	133
6.10. Análisis cualitativo del la etiqueta energética en referencia al programa oficial de certificación energética de España en la diferentes zonas climáticas.	134
6.11. Comparativa del consumo de energía de calefacción, entre los datos estimados y los reales del edificio Bermeo.	135
6.12. Emisiones totales de $kgCO_2/m^2$, datos estimados y reales del edificio Bermeo.	135
6.13. Datos geométricos de la vivienda unifamiliar "U2".	138
6.14. Emisiones de $kgCO_2/m^2$, cuando se cambia la inercia del muro. Edificio con ventanas, para 0.5 y 1 renovaciones hora.	139

6.15. Emisiones de $kg\ CO_2/m^2$, cuando se cambia la inercia del muro. Edificio con ventanas, para 0.5 y 1 renovación hora.	139
6.16. Emisiones de $kg\ CO_2/m^2$, cuando se cambia la inercia del muro. Edificio con ventanas más equipo de climatización bomba de calor, para 0.5 y 1 renovación hora.	140
6.17. Emisiones de $kg\ CO_2/m^2$, al variar la ubicación del aislante (posición media, en el interior, en el exterior), para 0.5 y 1 renovación hora. . . .	141
7.1. Potencia en el evaporador de la máquina de absorción en función de $\Delta\Delta t$ ($\Delta\Delta t_{min}=3.5[K]$, $G=1.04$, $\alpha=0.2$).	148
7.2. Rendimiento máquina de absorción en función de $\Delta\Delta t$ ($\Delta\Delta t_{min}=3.5[K]$, $G=1.04$, $\alpha=0.2$).	149
7.3. Diseño óptimo del ciclo endorreversible. Capacidad del evaporado por cada kW de capacidad y razón de capacidades del resto de los componentes $t_0^{diseño}=7^{\circ}C$, $t_1^{diseño}=32^{\circ}C$, $t_2^{diseño}=127^{\circ}C$	154
7.4. Capacidad de intercambio total mínimo para obtener un cierto EER, caso SE para $t_0^{diseño}=7^{\circ}C$, $t_1^{diseño}=32^{\circ}C$, $t_2^{diseño}=127^{\circ}C$	155
7.5. Temperatura del equilibrio (t_g^{eq}), para Valencia con $\alpha=0.5$, $\psi=80\ m^2K/kW$, $A_{col}=8\ m^2$, $t_e=5^{\circ}C$ en función del día juliano y la hora solar.	159
7.6. Potencia frigorífica en kW, para Valencia con $\alpha=0.5$, $\psi=80\ m^2K/kW$, $A_{col}=8\ m^2$, $t_e=5^{\circ}C$ en función del día juliano y la hora solar.	160
7.7. Temperatura del equilibrio (t_g^{eq}), para Valencia con $\alpha=0.5$, $\psi=80\ m^2K/kW$, $A_{col}=8\ m^2$, $t_e=14^{\circ}C$ en función del día juliano y la hora solar.	161
7.8. Potencia frigorífica en kW, para Valencia con $\alpha=0.5$, $\psi=80\ m^2K/kW$, $A_{col}=8\ m^2$, $t_e=14^{\circ}C$ en función del día juliano y la hora solar.	161
7.9. Potencia frigorífica en kW, para Valencia con $\alpha=0.5$, $\psi=200\ m^2K/kW$, $A_{col}=20\ m^2$, $t_e=5\ ^{\circ}C$ en función del día juliano y la hora solar.	162
7.10. Potencia frigorífica en kW, para Valencia con $\alpha=0.5$, $\psi=200\ m^2K/kW$, $A_{col}=20\ m^2$, $t_e=14\ ^{\circ}C$ en función del día juliano y la hora solar.	163
7.11. Producción anual de refrigeración en $kW\ h$ versus $\psi\ m^2K/kW$, en diferentes combinaciones de t_e y α , para la ciudad de Valencia.	164
7.12. Rendimiento del acople captador máquina versus $\psi\ m^2K/kW$, en diferentes combinaciones de t_e y α , para la ciudad de Valencia.	165
7.13. DDGH versus $\psi\ (m^2K/kW)$, en diferentes combinaciones de t_e y α , para la ciudad de Valencia	165
8.1. Tamaño de máquina (s en kW/K) versus área de colectores, para $t_e=5C$.171	
8.2. Relación costo en función de área de colectores, tamaño de máquina, producción de frío anual, día juliano y la hora solar, con $t_e=5C$	172
8.3. Vivienda en bloque "B2".	173
8.4. Demandas de calefacción, refrigeración y producción frigorífica para $A_{col}=59m^2$, $t_e=5^{\circ}C$ y $\psi=75m^2K\ kW^{-1}$	174
8.5. Demandas de calefacción, refrigeración y producción frigorífica para $A_{col}=17.1m^2$, $t_e=5^{\circ}C$ y $\psi=190m^2K\ kW^{-1}$	174

8.6. Relación costo en función de área de colectores, tamaño de máquina, producción de frío anual, día juliano y la hora solar, con $t_e = 14C$. . .	175
8.7. Edificio modelo para verificar la tipología y ubicación.	177
8.8. Demanda de energía total para diferentes orientaciones de la superficie más acristalada del edificio.	178
8.9. Demanda de energía total del edificio, para diferentes orientaciones de los captadores solares.	179
8.10. Demanda de energía al reducir el aislamiento de cerramientos opacos y elementos de huecos.	180
8.11. Emisiones de $kgCO_2/m^2$ año fósil de la vivienda unifamiliar U1, con número de renovaciones hora de 0.5 y 1, para todas las zonas climáticas.	184
8.12. Emisiones de $kgCO_2/m^2$ año fósil de la vivienda unifamiliar U2, con número de renovaciones hora de 0.5 y 1, para todas las zonas climáticas.	185
8.13. Emisiones de $kgCO_2/m^2$ año fósil de la vivienda unifamiliar U3, con número de renovaciones hora de 0.5 y 1, para todas las zonas climáticas.	185
8.14. Emisiones de $kgCO_2/m^2$ año fósil de la vivienda en bloque B1, con número de renovaciones hora de 0.5 y 1, para todas las zonas climáticas.	186
8.15. Emisiones de $kgCO_2/m^2$ año fósil de la vivienda en bloque B2, con número de renovaciones hora de 0.5 y 1, para todas las zonas climáticas.	186
8.16. Emisiones de $kgCO_2/m^2$ año fósil de la vivienda en bloque B3, con número de renovaciones hora de 0.5 y 1, para todas las zonas climáticas.	187
8.17. Calificación energética en edificios oficiales + sistema de frío y calor solar. Para 0.5 renovaciones hora y $t_e = 5C$. <i>Nomenclatura: [Tipo de construcción], [Letra de certificación: con el sistema convencional -> con sistema de refrigeración solar], área de captadores solares m^2 y $\psi m^2K/kW$.</i>	188
8.18. Calificación energética en edificios oficiales + sistema de frío y calor solar. Para 1 renovaciones hora y $t_e = 5C$. <i>Nomenclatura: [Tipo de construcción], [Letra de certificación: con el sistema convencional -> con sistema de refrigeración solar], área de captadores solares m^2 y $\psi m^2K/kW$.</i>	189
8.19. Calificación energética en edificios oficiales + sistema de frío y calor solar. Para 0.5 renovaciones hora y $t_e = 14C$. <i>Nomenclatura: [Tipo de construcción], [Letra de certificación: con el sistema convencional -> con sistema de refrigeración solar], área de captadores solares m^2 y $\psi m^2K/kW$.</i>	190
8.20. Calificación energética en edificios oficiales + sistema de frío y calor solar. Para 1 renovaciones hora y $t_e = 14C$. <i>Nomenclatura: [Tipo de construcción], [Letra de certificación: con el sistema convencional -> con sistema de refrigeración solar], área de captadores solares m^2 y $\psi m^2K/kW$.</i>	190
8.21. Calificación energética en edificios oficiales con aislamiento mejorado, para 0.5 renovaciones hora. <i>Nomenclatura: [Tipo de construcción], [Letra de certificación: con el sistema convencional -> con la mejora del aislante en vidrios y cerramientos] y ningún sistema solar.</i>	192

8.22. Calificación energética en edificios oficiales con aislamiento mejorado, para 1 renovaciones hora. <i>Nomenclatura: [Tipo de construcción], [Letra de certificación: con el sistema convencional -> con la mejora del aislante en vidrios y paredes] y ningún sistema solar.</i>	192
8.23. Calificación energética de los edificios oficiales con aislamiento mejorado + sistema de frío y calor solar. Para 0.5 renovaciones hora y $t_e = 5C$. <i>Nomenclatura: [Tipo de construcción], [Letra de certificación: con el sistema convencional -> con sistema de refrigeración solar], área de captadores solares m^2 y $\psi m^2K/kW$. (Mejorado el aislante - con refrigeración solar).</i>	193
8.24. Calificación energética de los edificios oficiales con aislante mejorado + sistema de frío y calor solar. Para 1 renovaciones hora y $t_e = 5C$. <i>Nomenclatura: [Tipo de construcción], [Letra de certificación: con el sistema convencional -> con sistema de refrigeración solar], área de captadores solares m^2 y $\psi m^2K/kW$. (Mejorado el aislante - con refrigeración solar).</i>	194
8.25. Reducción de la demanda total (frío+calor) en (%), para viviendas unifamiliares originales, en diferentes zonas climáticas de España, para 0.5 y 1 renovaciones hora.	195
8.26. Reducción de la demanda total (frío+calor) en (%), para viviendas en bloque originales, en diferentes zonas climáticas de España, para 0.5 y 1 renovaciones hora.	196
8.27. Reducción de la demanda total (frío+calor) en (%), en viviendas unifamiliares con mejora del aislamiento y f_s de los huecos. Para diferentes zonas climáticas de España, con 0.5 y 1 renovaciones hora.	196
8.28. Reducción de la demanda total (frío+calor) en (%), para viviendas en bloque con mejora del aislamiento y f_s de los huecos. Para las diferentes zonas climáticas de España, con 0.5 y 1 renovaciones hora	197
A.1. Control del termostato para edificios residenciales, de acuerdo a la certificación energética de España.	204
A.2. Comportamiento de la carga sensible por ocupantes.	205
A.3. Comportamiento de la carga latente por ocupantes.	205
A.4. Comportamiento de la carga sensible por los equipos.	206
A.5. Comportamiento de la carga sensible por la iluminación.	206
C.1. Edificios unifamiliares (U1,U2,U3).	215
C.2. Edificios en Bloques (B1,B2,B3).	216
C.3. 11 Viviendas unifamiliares utilizadas para validar el procedimiento simplificado existente.	224
C.4. 10 Viviendas en bloques utilizadas para validar el procedimiento simplificado existente.	224
E.1. Ajuste demanda de calefacción para Cádiz y Almería.	239
E.2. Ajuste demanda de calefacción para Valencia y Sevilla.	240
E.3. Ajuste demanda de calefacción para Bilbao y Barcelona.	240
E.4. Ajuste demanda de calefacción para Granada y Toledo.	240

E.5. Ajuste demanda de calefacción para Vitoria y Zamora.	241
E.6. Ajuste demanda de calefacción para Madrid y Burgos.	241
E.7. Ajuste demanda de refrigeración para Cádiz y Almería.	241
E.8. Ajuste demanda de refrigeración para Valencia y Sevilla.	242
E.9. Ajuste demanda de refrigeración para Barcelona y Granada.	242
E.10. Ajuste demanda de refrigeración para Toledo y Zamora.	242
E.11. Ajuste demanda de refrigeración para Madrid.	243
E.12. Ajuste emisiones de $kgCO_2/m^2$ para Cádiz y Almería.	243
E.13. Ajuste emisiones de $kgCO_2/m^2$ para Valencia y Sevilla.	243
E.14. Ajuste emisiones de $kgCO_2/m^2$ para Bilbao y Barcelona.	244
E.15. Ajuste emisiones de $kgCO_2/m^2$ para Granada y Toledo.	244
E.16. Ajuste emisiones de $kgCO_2/m^2$ para Vitoria y Zamora.	244
E.17. Ajuste emisiones de $kgCO_2/m^2$ para Madrid y Burgos.	244

Índice de Tablas

2.1.	Datos iniciales del consumo de energía en calefacción y ACS del edificio Bermeo.	10
2.2.	Aplicación y resultados del método de grados día en el edificio Bermeo.	11
2.3.	Emisiones de $kgCO_2$ para los diferentes meses del año, utilizando el método de grados día. Aplicado al edificio Bermeo.	12
2.4.	Porcentaje radiante y convectivo en cada aportación.	17
2.5.	RTS (porcentaje decalado en el tiempo de como se transforma la energía intercambiada por radiación en convección al aire). Radiación no solar. Zona con alguna pared al exterior.	19
2.6.	RTS (porcentaje decalado en el tiempo de cómo se transforma la energía intercambiada por radiación en convección al aire). Radiación no solar. Zona con todas las paredes interiores. Misma notación que la tabla 2.4.	20
2.7.	RTS (porcentaje decalado en el tiempo de como se transforma la energía intercambiada por radiación en convección al aire). Radiación solar. Misma notación que la tabla 2.4.	21
3.1.	Coeficientes de paso de energía a emisiones de CO_2 fósil.	26
3.2.	Opciones de obtención de clase D para bloque de viviendas en las zonas A4, B3, B4, C3 y C4.	27
3.3.	Ventajas e inconvenientes entre los diferentes programas de certificación energética.	32
4.1.	Tabla E.7 de la HE1.	49
4.5.	Tabla E7 de la HE1.	65
5.1.	Condiciones nominales Eurovent.	107
6.1.	Coeficientes globales de transmisión de calor de cerramientos opacos en todos los edificios de comparación y diferentes zonas climáticas de España.	123
6.2.	Coeficiente globales de transmisión de calor en elementos de huecos para las diferentes zonas climáticas de España.	123
6.3.	Resumen comparativo de datos estimados y reales del edificio Bermeo.	134
7.1.	Potencia de refrigeración en kW y producción anual de refrigeración kWh (MJ) para diferentes zonas climáticas de España, con $\psi = 80 m^2K/kW$, $A_{col} = 8 m^2$	162

8.1.	Superficie de los diferentes cerramientos (m^2), del edificio en bloque “B2” (Valencia).	173
8.2.	Coefficientes globales de transmisión de calor de cerramientos opacos y de huecos, edificio en bloque “B2” (Valencia).	173
8.3.	Demanda de energía no cubierta por el sistema solar, vivienda en bloque “B2” $t_e = 5^{\circ}C$	173
8.4.	Valores óptimos de A_{col} y “ s ” más la demanda de energía no cubierta por el sistema solar en el bloque “B2” (Valencia), con $t_e = 5^{\circ}C$ y $t_e = 14^{\circ}C$	176
8.5.	Superficie de los diferentes cerramientos opacos (m^2), mayor superficie acristalada en orientación norte del edificio modelo (Valencia) figura (8.7).	177
8.6.	Coefficientes globales de transmisión de calor de cerramientos opacos y elementos de hueco del edificio modelo figura (8.7).	177
8.7.	Tabla de valores óptimos de área de captadores y ψ para edificios oficiales y diferentes zonas climáticas de España. Condensando con torre de refrigeración, $t_e = 5^{\circ}C$	181
8.8.	Tabla de valores óptimos de área de captadores y ψ para edificios oficiales y diferentes zonas climáticas de España . Condensando con torre de refrigeración a $t_e = 14^{\circ}C$	182
8.9.	Tabla de valores óptimos de área de captadores y ψ para edificios oficiales y diferentes zonas climáticas de España. Condensando con geotermia, $t_e = 5^{\circ}C$	183
8.10.	Mejora en un 40 % el coeficiente global de transferencia de calor U en cerramientos opacos respecto al valor que cumple HE1.	191
8.11.	Mejora en un 50 % del factor solar, aplicado solo para verano y un 50 % el coeficiente global de transferencia de calor U en elementos de huecos respecto al valor que cumple HE1.	193
B.1.	Calificación de eficiencia energética de edificios.	207
D.1.	Zonas climáticas de España, en función de la severidad climática.	226
D.2.	DDGH para diferentes combinaciones, para la ciudad de Cádiz.	227
D.3.	DDGH para diferentes combinaciones, para la ciudad de Almería.	228
D.4.	DDGH para diferentes combinaciones, para la ciudad de Valencia.	229
D.5.	DDGH para diferentes combinaciones, para la ciudad de Sevilla.	230
D.6.	DDGH para para diferentes combinaciones, para la ciudad de Bilbao.	231
D.7.	DDGH para diferentes combinaciones, para la ciudad de Barcelona.	232
D.8.	DDGH para diferentes combinaciones, para la ciudad de Granada.	233
D.9.	DDGH para diferentes combinaciones, para la ciudad de Toledo.	234
D.10.	DDGH para diferentes combinaciones, para la ciudad de Vitoria.	235
D.11.	DDGH para diferentes combinaciones, para la ciudad de Zamora.	236
D.12.	DDGH para diferentes combinaciones, para la ciudad de Madrid.	237
D.13.	DDGH para diferentes combinaciones, para la ciudad de Burgos.	238

Capítulo 1

Introducción

1.1. Introducción

La energía es imprescindible para la vida. Consumir energía se ha convertido en sinónimo de actividad, transformación y progreso, hasta tal punto que la tasa de consumo energético, es hoy en día un indicador del grado de desarrollo económico de un país. El consumo de energías provenientes de combustibles fósiles (carbón y petróleo principalmente) durante el siglo XXI se ha incrementado tanto, según International Energy Outlook 2009 (IEO), las cifras que se proyectan en escalada del 2004 al 2030 posee un incremento de 57% , datos que ponen en riesgo de agotar estos recursos.

Los países más pobres muestran consumos más bajos de energía, mientras que los países más ricos utilizan grandes cantidades de la misma. Sin embargo este escenario está cambiando de forma drástica, cambio que se acentuará en los próximos años, donde serán precisamente los países en vías de desarrollo quienes experimenten con mayor rapidez un aumento en su consumo de energía, debido al incremento que tendrán en su población como en sus economías. Este hecho hace que la gente tenga que sensibilizarse más con el uso racional de la energía, o buscar otras vías o alternativas de generación de energía, que sean menos contaminantes y más limpias, entre ellas se encuentra la energía renovable, como una alternativa pero no, como una solución definitiva.

Según “*Energy Efficiency in Building*” (2009), el 38% de las emisiones de CO_2 al ambiente son imputables a las edificaciones. A consecuencia de esta preocupación, en el protocolo de Kioto los países de la Unión Europea (UE) se comprometieron a cumplir las normativas de eficiencia energética. En estos últimos encuentros en Montreal y Copenhague ratificaron su compromiso.

España a través de la legislación pone en vigencia dos Reales Decretos, el RD 316/2006 ref. [12] y RD 47/ 2007 ref.[13] para edificios de nueva construcción, con el primero se controla los requisitos térmicos de la edificación HE1 ref. [4]. (Limitación de la demanda de energía) y con el segundo real decreto, se determinan las emisiones anuales de $kgCO_2$ fósil por metro cuadrado, debido al consumo de

las instalaciones de climatización (calefacción, refrigeración, ACS y iluminación en el caso de edificios del sector terciario).

La Asociación Técnica Española de Climatización y Refrigeración en el libro Fundamentos de Climatización (2010). Menciona que el porcentaje de consumo final de energía en climatización en España está entre el 10 y el 20 % dependiendo de la zona climática ref. [11], valores que corrobora S. Díaz et ál. (2008) ref. [30]. Las instalaciones de calefacción y agua caliente sanitaria en viviendas y las instalaciones de climatización e iluminación en edificios terciarios son los que más contribuyen a elevar los consumos de este sector.

Una de las líneas de investigación que lleva el Departamento de Termodinámica Aplicada de la Universidad Politécnica de Valencia, es la certificación energética en edificios. En consecuencia a ello, el presente trabajo contiene el planteamiento y la metodología de simulación abreviado para la certificación energética en edificios residenciales, para edificios residenciales de nueva construcción (bloque y unifamiliares).

Los objetivos principales del trabajo son: desarrollar el planteamiento y la metodología de cálculo abreviado para certificación energética en viviendas residenciales, y estimar de forma aproximada la producción anual de $kgCO_2$ fósil por metro cuadrado de superficie acondicionada.

Observar la aplicación del modelo, cuando se utiliza sistemas no convencionales, de esa manera verificar ahorro energético por la utilización de fuentes renovables (mejora de la calificación energética).

La metodología de funcionamiento de esta nueva herramienta de cálculo para la calificación energética en edificios residenciales, es función de la simulación horaria a lo largo de todo el año. En primera instancia se determina la demanda en calefacción y refrigeración. Luego se verifica el comportamiento y consumo de los equipos (potencia y rendimientos) que actúan en las zonas acondicionadas. Al consumo de energía de los equipos de acondicionamiento se aplica los coeficientes de paso de energía a emisiones de $kgCO_2$, obteniendo como resultado, el consumo anual de $kgCO_2$ fósil por metro cuadrado de superficie acondicionada.

En la primera parte del trabajo se hace un estudio del arte mencionando los métodos simplificados de cálculo de demanda en calefacción, refrigeración y los métodos existentes de certificación energética de España.

Realizar una metodología abreviada, es complicado puesto que se ve con la necesidad de restringir ciertas variables que intervienen en el cálculo, la validación de la metodología planteada se realiza por comparación con el programa legislativo español CALENER VYP ref. [16] y las demandas horarias de calefacción y refrigeración con el programa EnergyPlus ref. [43]. Además se compara con datos reales medidos en un edificio (edificio Bermeo Comunidad Autónoma del País Vasco), de todo ello se muestra los intervalos de confianza.

En el último apartado de este trabajo, se observa la aplicación del modelo a sistemas de acondicionamiento no convencionales en los edificios, con ello se pre-

tende verificar los ahorros energéticos que podrían conseguirse al utilizar fuentes renovables, para generar potencia de refrigeración y calefacción. Con ello se intenta cumplir con el enunciado que publica el artículo 1 del boletín oficial de la Unión Europea (Mayo 2010) “*los edificios de nueva construcción deberían tener cero o casi nulo consumo de energía*” ref. [1] y [3].

1.2. Objetivos y metodología

Los objetivos principales del presente trabajo son:

- Diseñar una metodología de simulación abreviada para estimar de forma aproximada la producción anual de $kgCO_2$ por metro cuadrado de superficie acondicionada en edificios residenciales tanto en bloque como unifamiliares. Básicamente ha consistido en usar los factores de respuesta de conducción, una temperatura equivalente por recinto (que se ha supuesto prácticamente igual a la temperatura del aire en el edificio) y el uso del método RTS “*Radiant Time Series*” para la adecuada distribución de la energía (convección y radiación) en el interior de la zona térmica. Los cuatro requisitos que se buscaron en el método fueron:
 - Cálculo rápido y práctico.
 - Mostrar la repercusión sobre la calificación de diferentes acciones.
 - Entrada fácil de datos.
 - Que no se desviara los resultados respecto al método de referencia.
- Estudio de la aplicación del modelo de simulación, con el uso de sistemas no convencionales.
- Determinar y discutir el ahorro energético mediante la implementación del sistema no convencional (generación de potencia frigorífica solar y energía fototérmica, para la generación de calor).

Los métodos a seguir para conseguir los objetivos planteados son los siguientes:

1. Realizar el estudio del estado del arte, de los diferentes métodos simplificados para el cálculo de demanda y certificación energética.
2. Analizar los diferentes modelos de cálculo simplificado para la determinación de la demanda de calefacción, refrigeración y la certificación energética.
3. Explicar y desarrollar la metodología de cálculo abreviado para la certificación energética del edificio.

4. Explicar los parámetros de comparación entre el modelo planteado y el programa oficial de certificación energética (CALENER VYP), principalmente las condiciones de simulación (calefacción y refrigeración), consumo de ACS, los horarios de funcionamiento, curvas de rendimientos y prestaciones de los equipos.
5. Validar el método en las diferentes zonas climáticas españolas, con los edificios por defecto utilizados para desarrollar los programas oficiales LIDER y CALENER VYP.
6. Aplicación del modelo con sistemas no convencionales.
Se hará mención, como parte complementaria, a los modelos matemáticos del acople solar de captadores solares a una máquina de absorción de simple efecto, para la obtención de la potencia de refrigeración.
7. Se incorpora en forma directa el comportamiento térmico del edificio al sistema de frío solar.
8. Verificar los ahorros energéticos que se pueden conseguir al utilizar fuentes renovables para la producción de frío y calor.

1.3. Contenido

El presente trabajo tiene dos partes: una primera parte (capítulo 2-6) en la que se describe el estado del arte (explicando las metodologías simplificadas de cálculo, métodos generales y herramientas actuales de cálculo de la certificación energética). Seguido del planteamiento, descripción pormenorizada de la metodología planteada, y su posterior validación. Con ello se pretende responder al primer objetivo planteado en este trabajo “*Diseñar una metodología de simulación abreviada para estimar de forma aproximada la producción anual de $kgCO_2$ por metro cuadrado de superficie acondicionada en edificios residenciales tanto en bloque como unifamiliares*”.

En una segunda parte (capítulo 7-8) se estudia la combinación de los sistemas de enfriamiento solar y el comportamiento térmico del edificio. Donde se explica el acople directo entre la máquina de absorción de simple efecto y los captadores solares. Posteriormente se analiza la simulación del edificio con el uso del sistema no convencional y se evalúa la repercusión sobre la calificación energética. De esa manera se responde a los 2 últimos objetivos planteados.

Finalmente, la última parte está constituida por cinco anexos que extienden y completan el trabajo.

A continuación se realiza un breve resumen de cada uno de los capítulos.

- El *capítulo 1* hace una introducción al problema planteado en este trabajo, se mencionan los objetivos, la metodología y el contenido de la tesis.

- El *capítulo 2* comenta los distintos modelos simplificados y métodos generales de estimación de energía en edificios. En este capítulo se realiza una revisión del estado del arte.
- El *capítulo 3* es un complemento al anterior capítulo. Se dedica íntegramente a revisar los diferentes métodos de certificación energética en España. Haciendo una descripción de los elementos y datos que consideran para la certificación.
- El *capítulo 4* define la metodología del programa propuesto. Desarrollando una serie de hipótesis y el contenido de la misma. Se determina las ganancias y cargas en cada uno de los elementos que intervienen en la simulación del edificio (cerramientos opacos y transparentes, puentes térmicos, ocupación, ventilación, iluminación y equipos), en la parte final se evalúa las condiciones térmicas de la zona (temperatura del aire) y las demandas de ACS.
- El *capítulo 5* describe la caracterización de los sistemas y equipos de climatización, especificando las variaciones de las curvas con respecto a las condiciones nominales.
- El *capítulo 6* expone la validación de la metodología en diferentes situaciones:
 - Validación de los resultados respecto al programa oficial de certificación.
 - Comparación con datos medidos (situación real).
 - Evaluación de las demandas de calefacción y refrigeración entre los programas Energy Plus, CALENER VYP y el programa propuesto.

En la parte final de este capítulo se analiza el efecto del peso, la ubicación del aislante en los cerramientos y su importancia de cara a la certificación energética.

- El *capítulo 7* expone el acople entre los captadores solares y la máquina de absorción de simple efecto. Se parametriza y evalúa ambos sistemas. En la parte media de este capítulo se hace una discusión de la generación de frío a dos temperaturas de servicio de 5 y 14°C. En la parte final se obtienen resultados que se adjuntan en el anexo "C". Éstos son unas tablas que representan el potencial termodinámico aplicado al $\Delta\Delta t$ (DDGH) para diferentes zonas climáticas de España.
- El *capítulo 8* se dedica íntegramente a estudiar la combinación del sistema de enfriamiento solar y el comportamiento térmico del edificio. Obteniendo valores óptimos del tamaño de máquina y de la superficie de captadores solares. En la parte final de este capítulo se analiza la repercusión de la utilización del sistema no convencional sobre la certificación energética.

- El *capítulo 9* recoge las conclusiones más importantes obtenidas del presente trabajo y se detallan aquellas futuras líneas de desarrollo que se consideran más interesantes.

Capítulo 2

Modelos de estimación de energía

Los principales modelos utilizados desde mediados de la década anterior para la determinación de las demandas de energía en edificios, se pueden clasificar en:

Modelos que consideran un estado energético dinámico y los modelos de estado energético estacionario.

Estos últimos modelos se utilizan para hacer aproximaciones de demanda de energía en los edificios siempre y cuando el comportamiento interno de las zonas sea constante, es decir no varíe las condiciones térmicas internas a lo largo del tiempo. Si el comportamiento es variable entonces los errores pueden ser muy grandes en la predicción.

Habitualmente son utilizados en edificios residenciales en zonas frías, para determinar demandas de calefacción. Basan sus métodos a partir de la temperatura exterior ya sea como promedio mensual, promedio diario o temperatura horaria.

2.1. Método de los Grados-día (GD)

A mitad del siglo XX [Thom, 1966], notó la necesidad de introducir un parámetro que permitiera relacionar de manera práctica el sistema energía-clima con la temperatura ambiente. En la actualidad es conocido como método de GD, es utilizado a la hora de hacer pronósticos simplificados del consumo de energía para propósitos de calefacción y aplicaciones de aire acondicionado, principalmente en el sector residencial. Este método se utiliza cuando la eficiencia de los equipos de climatización y aire acondicionado se considera constante. Para el método de los GD ASHRAE propone la siguiente expresión, ver ref. [2].

$$C_{año} = \frac{K_{tot}}{\eta} GD \quad (2.1)$$

$$K_{tot} = UA + \frac{nr \cdot V_p \cdot \rho \cdot Cp}{3600}$$

donde:

$C_{año}$ energía anual en base a grados día (kWh).

UA	conductancia total de transferencia de calor del edificio ($kW/^\circ C$).
nr	número de renovaciones hora.
V_p	volumen del local (m^3).
ρ	densidad del aire (kg/m^3).
C_p	calor específico del aire ($kJ/kg \cdot K$).
η	rendimiento del sistema de acondicionamiento ref. [33] y [58].
GD	los grados día, en calefacción y refrigeración. Se determina con las siguientes expresiones:

$$HD = (1 \text{ día}) \sum_{\text{día}} (T_b - T_m)^+ \quad (2.2)$$

$$CD = (1 \text{ día}) \sum_{\text{día}} (T_m - T_b)^+ \quad (2.3)$$

donde:

HD	grados días en refrigeración ($^\circ C$).
CD	grados días en calefacción ($^\circ C$).
T_b	temperatura base ($^\circ C$).
T_m	temperatura media ($^\circ C$).

El signo “+” que aparece como súper-índice, indica que solo son tomados en consideración aquellos intervalos cuya diferencia sea positiva en ambos casos.

La temperatura de referencia o temperatura base (T_b), para la determinación de los grados días es relacionada con la temperatura del aire exterior por debajo del cual se necesita calefacción. En España, según la Norma 100-002-88 considera como temperatura base $T_b=15^\circ C$ (aporte compensado por cargas internas). Este valor varía principalmente en función de la latitud del lugar, por la misma consideración es diferente en cada país.

Este método generalmente se utiliza en calefacción, y no así en refrigeración. En refrigeración la incertidumbre de los resultados es más grande, porque el método no contabiliza el aporte por radiación por tanto la acumulación de energía en la zona. Ésta variable varía a lo largo del tiempo y eso hace que el método posea incertidumbres en el cálculo.

2.1.1. Aplicación del método de los grados día

Una aplicación del método GD se encuentra reflejada en la Norma UNE 100-002-98 ref. [5]. Los GD presentados en la norma han sido calculados sobre la base de la media entre las temperaturas máxima y mínima de cada día, registrada en los observatorios meteorológicos. Los periodos registrados para las observaciones han sido de diez años. Los valores de GD que contempla la norma son para 288 localidades españolas.

Otra aplicación del GD, es el documento reconocido “Condiciones climáticas exteriores de proyecto” ref. [17], la diferencia entre este documento y la norma, es que este documento toma valores horarios (24 h. del día) de la temperatura exterior.

En el siguiente ejemplo, se hará uso de los valores GD determinados por el documento reconocido. Determinando el consumo de calefacción y agua caliente sanitaria (ACS), en un bloque de viviendas, para ello es necesario definir las ecuaciones que determinan los consumos.

2.1.1.1. Calefacción

El consumo de energía en calefacción en base al método GD, se determina a partir de:

$$C_{CLF} = \frac{K_{tot}}{\eta} GD_{15} \cdot 24 = \frac{P_{CLF} \cdot GD_{15}}{\Delta T \cdot \eta} 24 \quad (2.4)$$

donde:

C_{CLF} consumo de energía en calefacción (kWh).

P_{CLF} potencia máxima de calefacción (kW).

GD_{15} grados día en base 15.

ΔT salto térmico de diseño ($^{\circ}C$).

η rendimiento medio estacional considerado.

2.1.1.2. Agua caliente sanitaria (ACS)

El consumo estimado de agua caliente sanitaria se define como:

$$C_{ACS} = \frac{\dot{V} \cdot \rho_w \cdot (T_{ACS} - T_{AF}) \cdot C_{pw} \cdot Días}{\eta \cdot 3600} \quad (2.5)$$

donde:

C_{ASC} consumo de energía para agua caliente sanitaria (kWh).

\dot{V} consumo diario medio de agua caliente sanitaria ($l/día$).

Tabla 2.1: Datos iniciales del consumo de energía en calefacción y ACS del edificio Bermeo.

Estimacion de consumo BERMEO	
Potencia necesaria en la instalación [kw]	187
Potencia necesaria por grado [kw / °C].....	8.62
Salto térmico de cálculo.....	21.7
Uso promedio en [hrs].....	19
Rendimiento del sistema de calefacción.....	75%
Datos del ACS	
Consumo medio de ACS [l/día].....	58
Temperatura media uso ACS [°C].....	50
Rendimiento del sistema de ACS.....	50%
Número de viviendas.....	48
% de energía solar.....	62%
Datos Combustible	
Combustible empleado.....	Gas Natural
Poder calorífico inferior.....	10.83 kWh/m ³
Producción de CO ₂	204 gCO ₂ /kWh

T_{ASC} temperatura del agua caliente sanitaria.

T_{AF} temperatura media del agua de red del periodo considerado.

C_{pw} calor específico del agua (4.186 kJ/kg K).

ρ_w densidad del agua (kg/m^3).

$Días$ número de días del periodo considerado.

η rendimiento medio estacional del sistema de ACS.

El ejemplo a desarrollar fue estudiado en el DEA de A. García (2009) ref. [35]. Se corresponde a un edificio de bloque ubicado en la ciudad de Bermeo que se encuentra a 8 metros de altura sobre el nivel del mar, en el municipio de la comarca de Busturialdea, en la provincia de Vizcaya cuya capital es Bilbao perteneciente a la Comunidad Autónoma del País Vasco.

Se utiliza el ejemplo nombrado, porque se cuenta con valores medidos del consumo de energía en las instalaciones de calefacción y ACS., los datos necesarios para el cálculo del edificio Bermeo se muestran en la tabla (2.1).

En la primera parte (tabla 2.1) se definen los valores necesarios para el cálculo tanto para la calefacción como para ACS correspondientes a la potencia máxima necesaria (kW) y el consumo medio de ACS (l/día).

Para determinar la demanda de calefacción es necesario definir un salto térmico y con ello se determina la potencia necesaria por cada grado centígrado ($\text{kW}/^\circ\text{C}$). Se define el promedio de uso de la instalación y se asume un rendimiento medio estacional de toda la instalación (valores proporcionados por la empresa que lleva el mantenimiento de la instalación). Los datos requeridos para el ACS son: la temperatura media de uso, el rendimiento del sistema, el número de viviendas que se abastecen del sistema, y como la norma española lo establece (según

Tabla 2.2: Aplicación y resultados del método de grados día en el edificio Bermeo.

Mes	Número Días	GD 15	T media [°C]		Consumo [kWh]		
			Exterior	Agua red	C_{CLF}	C_{ACS}	C_{Total}
Enero	31	192	8.8	9.4	52946	8229	61175
Febrero	28	157	9.4	10	43294	7251	50546
Marzo	31	140	10.5	10	38606	8028	46635
Abril	30	105	11.5	11	28955	7575	36530
Mayo	31	12	14.6	13	3309	7426	10735
Junio	30	0	17.3	15	0	6798	6798
Julio	31	0	19.5	17	0	6623	6623
Agosto	31	0	19.7	17	0	6623	6623
Septiembre	30	0	18.1	16	0	6604	6604
Octubre	31	0	15.2	14	0	7225	7225
Noviembre	30	96	11.8	11	26473	7575	34048
Diciembre	31	161	9.8	10	44397	8028	52426
Total Año	365	863	13.85	12.75	237981	33435	271416
		Total Año / m^2			54.285	7.641	56.019

el código técnico HE 4), se especifica el mínimo porcentaje de energía solar de la instalación.

Como resultados se obtienen valores del consumo de los 12 meses en (kWh) tanto para calefacción y ACS. La suma de todos los meses da el consumo total anual, este valor se divide entre la superficie habitada del edificio, dando como resultado el consumo total por metro cuadrado instalado, ver tabla (2.2).

A la última tabla se aplica los coeficientes de paso de energía a emisiones de CO_2 (combustible utilizado es gas natural), en la tabla (2.3) se obtienen las emisiones de CO_2 por metro cuadrado para cada mes, la suma de todos los meses remite la cantidad de $kgCO_2$ fósil emitidos por el edificio debidos a los servicios de calefacción y ACS.

En la parte de validación de la metodología planteada, se usaran los valores calculados para comparar ambos resultados, además se cuenta con valores reales de consumo medidos en las instalaciones de calefacción y ACS del edificio Bermeo (seguimiento realizado durante 4 años por el servicio de mantenimiento de la instalación), cuyos valores también serán objeto de comparación más adelante.

2.2. Método Binario

Como consecuencia del método GD se crea otro método conocido como Bin o binario, conocido como método simple de medidas por Hüsamettin Bulut et ál. (2008) ref. [29] . Este procedimiento al igual que el anterior, solo es válido para comportamiento térmico del edificio y sistema HVAC “*heating, ventilating, and air-conditioning*” que trabajen de forma constante.

Tabla 2.3: Emisiones de $kgCO_2$ para los diferentes meses del año, utilizando el método de grados día. Aplicado al edificio Bermeo.

Mes	Consumo kg CO_2		
	CO_2 CLF	CO_2 ACS	Total
Enero	10801	638	11439
Febrero	8832	562	9394
Marzo	7876	622	8498
Abril	5907	587	6494
Mayo	675	576	1251
Junio	0	527	527
Julio	0	513	513
Agosto	0	513	513
Septiembre	0	512	512
Octubre	0	560	560
Noviembre	5400	587	5988
Diciembre	9057	622	9679
Total Año	48548	6821	55369
Total Año / m^2	11.09	1.56	13

Este método se basa en el cálculo del consumo de energía para valores diferentes de temperatura exterior ($T_{o,i}$), este valor se multiplica por el valor del número de horas correspondiente ($N_{bin,i}$) en el intervalo de temperatura (Bin) centrado alrededor de este valor o periodo.

$$C_{bin,i} = N_{bin,i} \frac{K_{tot}}{\eta} (T_b - T_{o,i})^{\pm} \quad (2.6)$$

Nota: misma notación que el método de GD.

La temperatura de equilibrio o temperatura base (T_b) es el valor mínimo o máximo de la temperatura exterior, en función de las necesidades de calefacción o refrigeración. En la ecuación anterior, para calefacción se considera solo los valores positivos y para refrigeración los valores con el signo negativo. Los valores $C_{bin,i}$ son calculados por separado usando la ecuación (2.6) para cada intervalo de temperatura Bin y sumados para obtener el consumo de energía total.

$$C_{bin} = \sum_{i=1}^m C_{bin,i} \quad (2.7)$$

donde, m es el número total de intervalos de temperatura Bin.

La diferencia entre el método Bin y el método GD consiste en el modo de tomar los datos meteorológicos. El método de GD utiliza datos meteorológicos promedio horarios o diarios, sin embargo el método Bin utiliza datos diarios, mensuales o anuales que se repiten en un intervalo de tiempo definido.

Las aplicaciones prácticas del método son: poder evaluar el funcionamiento de torres de refrigeración, el diseño pasivo solar, condiciones de carga máximas y

potencia evaporativa de refrigeración ref. [21].

2.3. Métodos generales de cálculo de demanda de energía

Los métodos generales de cálculo, utilizan los modelos dinámicos para determinar la demanda térmica del edificio. El control de las cargas térmicas y de los equipos instalados generalmente lo hacen en una simulación horaria, a lo largo de todo el año.

Los modelos en estado energético dinámico toman en consideración la transferencia de calor a través de las paredes, techo y elementos de huecos, la inercia térmica de los cerramientos, los puentes térmicos, los elementos internos, las variaciones de temperatura del aire en cada local. De los equipos se consideran los horarios de funcionamiento, potencia nominal, el funcionamiento del equipo (rendimientos a carga parcial), arranques y paradas.

2.4. Método del balance de energía

Consiste básicamente en realizar balances de energía en cada una de las superficies que conforman el edificio (por cada pared o hueco dos temperaturas superficiales) y un balance de energía y humedad en el aire de cada recinto ref. [48, 59].

El balance de energía que se establece en cada superficie de cerramiento, consiste en contabilizar el calor transmitido por conducción (en régimen transitorio) con la temperatura de la otra cara del cerramiento.

Para determinar la transmisión de calor en régimen transitorio a través de un cerramiento se utilizan métodos como los factores de respuesta o funciones de transferencia. Los métodos son explicados por diferentes autores, Stephenson et ál. (1967, 1971) ref. [39, 40], J. M. Pinazo et ál. (1997) ref. [47, 49], G. Beccali et ál. (2005) ref. [36] e IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía) a través de la guía “Procedimientos y aspectos de la simulación de instalaciones térmicas en edificios (2008)” ver referencia [48].

El balance también tiene en cuenta el flujo de calor intercambiado con el aire por convección. El intercambio de calor por radiación se compone de dos contribuciones en función de la longitud de onda. La radiación solar actúa como radiación de onda corta y también parte de las luces, mientras los demás elementos que intercambian calor mediante radiación: otras superficies, ocupantes, etc., lo hacen como radiación infrarroja. Al realizar el balance sobre una superficie no se considera la existencia de la masa de los cerramientos.

A continuación se representa la ecuación del balance sobre una superficie, considerando los elementos anteriormente mencionados:

$$Q_{\text{radiación } \lambda \text{ corta}} + Q_{\text{radiación } \lambda \text{ larga}} + Q_{\text{convección}} + Q_{\text{conducción}} = 0 \quad (2.8)$$

Las expresiones concretas para estimar los distintos flujos de calor varían según el tipo de superficie (exteriores o interiores).

Balance de energía en el aire, con ello se obtiene una nueva relación entre la temperatura del aire y las temperaturas de las superficies de los cerramientos interiores, teniendo en cuenta: la convección de todos los cerramientos que forman el espacio, la energía transferida por convección de todas las cargas internas del mismo (luces, personas, equipos), el aporte de la ventilación y las infiltraciones existentes. También se contempla el calor compensado por los equipos terminales de la instalación de climatización, (realmente este valor será la carga térmica del local a compensar cuando la variación interna de energía del aire interior sea nula).

La variación de energía interna del aire se hace nula para estimar la carga. En periodos en los que el equipo no está en marcha, ya sea por estar dentro del intervalo del termostato o por programación horaria de funcionamiento, o incluso en periodos en los que el equipo no puede compensar toda la carga térmica existente en el local. Este término sirve para determinar la evolución con el tiempo de la temperatura del aire del local, (se utiliza en simulación energética de edificios).

El balance en el aire del espacio se representa mediante la siguiente expresión:

$$Q_{\text{conv. cerramientos}} + Q_{\text{conv cargas Internas}} + Q_{\text{sen infiltración, ventilación}} + Q_{\text{sen,sys}} = \frac{\Delta E_{\text{interna}}}{\Delta t} \quad (2.9)$$

Señalar que en cálculo de cargas térmicas no se suele contabilizar la inercia de muebles o la del aire contenido en el recinto ($\Delta E_{\text{interna}}=0$) ya que se supone que queremos mantener la temperatura constante.

Aplicando el anterior conjunto de ecuaciones tenemos tantas ecuaciones como incógnitas en cada intervalo de tiempo considerado, (2 temperaturas por cada superficie exterior/interior y una del aire por cada local), con lo que una vez obtenidas despejamos $Q_{\text{sen,sys}}$ que es la carga térmica sensible en dicho intervalo para cada local.

Para realizar el balance de vapor, calor latente, en el aire del recinto, se deben contabilizar los aportes de los ocupantes, equipos existente o procesos y la ventilación (dependiendo de las características del aire introducido y cómo se realiza la ventilación). Así, la expresión que describe estos cálculos es la siguiente:

$$Q_{\text{lat cargas internas}} + Q_{\text{lat infiltración, ventilación}} + Q_{\text{lat, equipos}} + Q_{\text{lat, sys}} = \frac{\Delta m_{\text{vapor, interno}} \cdot C_f}{\Delta t} \quad (2.10)$$

De la ecuación anterior despejamos la evolución de la humedad del local (en simulación) o la carga latente a compensar por nuestros equipos cuando no existe variación de cantidad de vapor en el local (cálculo de cargas).

Características del Método del Balance:

- Es un procedimiento riguroso (por ejemplo se puede contemplar con precisión el intercambio convectivo asumiendo variaciones del coeficiente de convección con el salto de temperaturas existente entre la superficie y el aire, analizar con precisión el intercambio radiante, etc.).
- Es necesario el uso de un software adecuado para su cálculo.
- Es el método utilizado para la simulación energética de edificios. En programas como, EnergyPlus, TRNSYS, entre otros.
- En general no es este el procedimiento utilizado para el cálculo de cargas térmicas.

2.5. Método de las series temporales radiantes

El método de series temporales radiantes “*Radiant Time Series*” (RTS), consiste en calcular de forma independiente y para cada instante el valor de cada uno de los elementos que realizan una aportación energética al recinto. La cantidad de energía finalmente aportada al aire se estima como suma de cada una de las aportaciones individuales ver ref.[53]. La figura (2.1) muestra el diagrama de flujo que sigue el método para la determinación de la carga térmica.

Los valores que utiliza el método *RTS* se consiguen dando un pulso de 1 hora de 100 % de ganancias radiantes en el interior de un recinto. El pulso se distribuye uniformemente en las superficies interiores del recinto, es decir, las ganancias radiantes son tratadas uniformemente en el interior. La porción de ganancia radiante convertido en carga (convección) se evalúa a lo largo de 24h. (pesos o fracción convectiva para las 24 horas). Los resultados se denominan como *RTF* (radiant time factor). Estos valores se aplican a todas las ganancias internas, excepto a las ganancias radiantes solar. Para estos últimos la aplicación es diferente, el 100 % de ganancia radiante solar en el interior de la zona no es uniforme, es decir, el 50 % incide sobre las alfombras o moquetas y el otro 50 % se distribuye en muebles y otros. Al igual que el caso anterior los resultados se evalúan en periodos de 24 horas. y se obtienen 24 valores de ganancia convertida en carga por el impulso de 1 hora de ganancia radiante solar. La determinación de los *RTF* se realiza con las consideraciones simplificadas de la temperatura radiante media realizada por Carroll (1980a) ref. [34] a partir del método del factor de visión “MRT view factor method”. Los valores obtenidos como resultados del *RTF* se encuentran en la tesis doctoral de B. Niguse (2007) ver ref. [42], valores que se adjunta más adelante.

Para la aplicación de este método se debe tener claro la diferencia entre ganancia, cantidad de energía que se introduce en el recinto y carga, cantidad de energía que es comunicada al aire. Para ello, en cada aportación (ganancia) se discrimina entre la cantidad de energía que se introduce en el interior del recinto en forma de:

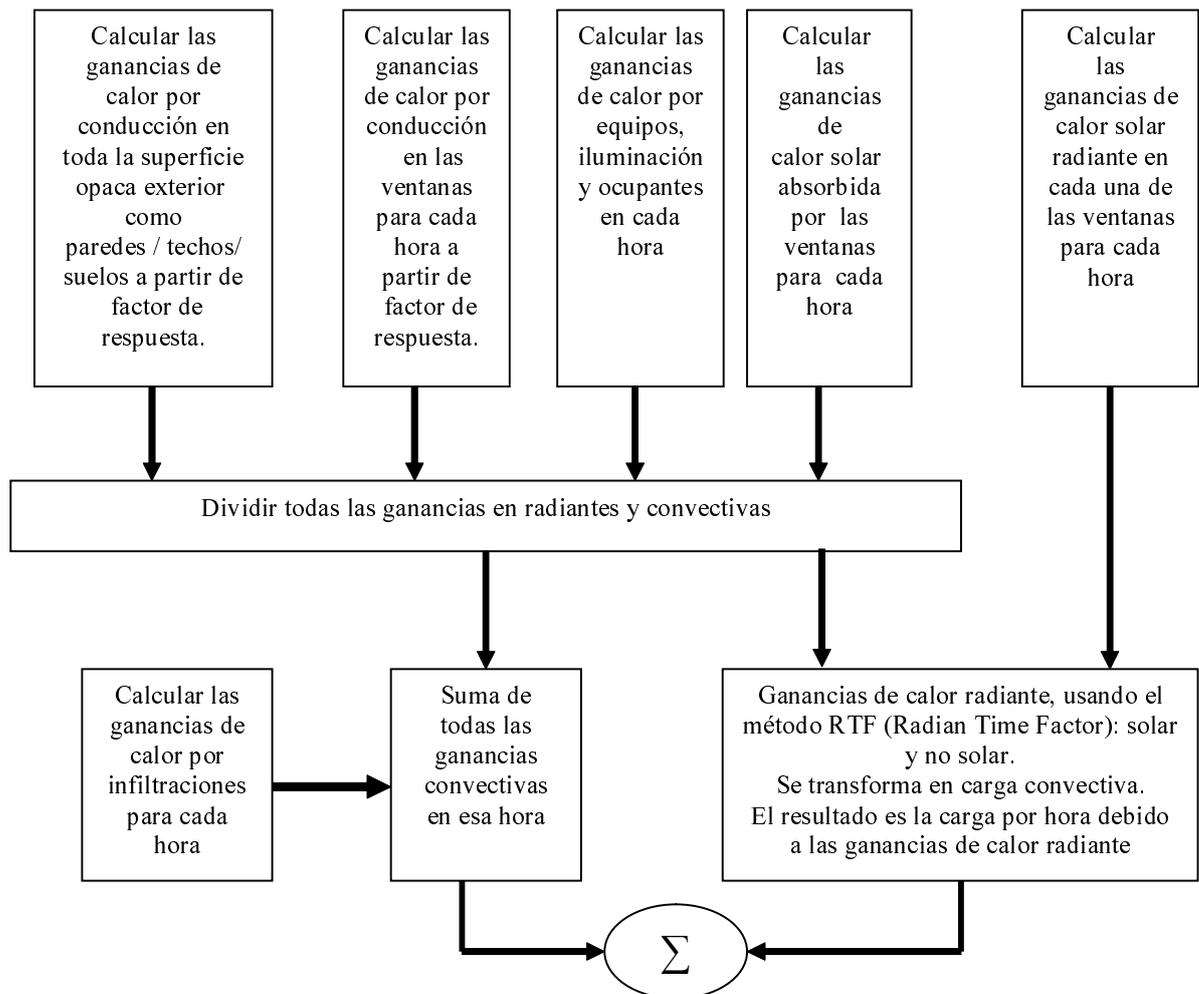


Figura 2.1: Diagrama de flujo que sigue el método RTS para el cálculo de carga térmica. (Fuente:Rees et ál. 2000a).

Tabla 2.4: Porcentaje radiante y convectivo en cada aportación.

	Radiación [%]	Convección [%]
Ocupantes	60	40
Equipos con ventilador	10	90
Equipos sin ventilador	30	70
Conducción paredes y suelos	46	54
Conducción techos	60	40
Conducción ventanas factor solar >0.5	33	67
Conducción ventanas factor solar ≤ 0.5	46	54
Radiación solar sin elementos de sombra interiores	100	0
Radiación solar con elementos sombra interiores, factor solar >0.5	33	67
Radiación solar con elementos sombra interiores, factor solar ≤ 0.5	46	54
Infiltración	0	100

- Convección, ganancia que pasa a carga de forma instantánea.
- Radiación, es absorbida por los cerramientos, muebles, . . . y de forma retardada se comunicará al aire.

En la tabla (2.4) se detalla el porcentaje asumido para cada aportación de intercambio convectivo y radiante.

El retraso con el tiempo de cómo la ganancia se transforma en carga, depende de las características térmicas del recinto, y sobre que cerramiento, muebles, etc., incide la radiación térmica, así podemos distinguir:

- Tipo de cerramientos:
 - Zona construida con cerramientos ligeros, paredes industrializadas tipo sándwich.
 - Zona construida con cerramientos medios, paredes con ladrillos normales.
 - Zona construida con cerramientos pesados, paredes que contienen una capa de hormigón importante.
- Distribución de la radiación:
 - Radiación solar, incide básicamente en el suelo y una pequeña proporción se refleja a los demás cerramientos del recinto.
 - Radiación no solar, incide sobre todos los cerramientos, básicamente en función de su área.
- Incidencia de la radiación:

- Suelo con Alfombras o moquetas.
 - Suelo sin alfombras ni moquetas: pavimento.
- Tipo de zona térmica:
 - Zona exterior, con algún cerramiento al exterior.
 - Zona interior, todos los cerramientos interiores.

Con arreglo a las anteriores divisiones se define la distribución temporal de cómo la ganancia radiante se transforma en carga denominado “Radiant Time Series”, cuyos valores pueden ser obtenidos en configuración típicas de zonas (dimensiones) a partir del método del balance.

Así, de acuerdo con esta filosofía, la carga (energía transferida al aire en cada instante) asociada a la ganancia de cada contribución se obtiene mediante:

$$C_{carga}(n) = C \cdot G(n) + \sum_{j=0}^{23} (1 - C) \cdot G(n - j) \cdot RTS(j) \quad (2.11)$$

o también se puede expresar como:

$$C_{carga}(n) = [C + (1 - C) \cdot RTS(0)] \cdot G(n) + \sum_{j=1}^{23} (1 - C) \cdot G(n - j) \cdot RTS(j) \quad (2.12)$$

donde:

$C_{carga}(n)$ carga (W) en el instante “n”.

$G(n)$ ganancia (W) en el instante “n”.

C porcentaje de energía (en tanto por uno) que es convectiva respecto al total intercambiado por dicha contribución. (La que no es convectiva es radiante).

El cálculo de la ganancia (energía transmitida al interior del recinto) se estima por procedimientos distintos en función de la contribución considerada, así:

Opacos

- Transmisión de calor a través de cerramientos opacos. Se realiza mediante funciones de transferencia o factores de respuesta, entre las temperaturas del aire que están a ambas partes del cerramiento, considerando en sus superficies un coeficiente global de convección-radiación (de onda larga).

Tabla 2.5: RTS (porcentaje decaído en el tiempo de como se transforma la energía intercambiada por radiación en convección al aire). Radiación no solar. Zona con alguna pared al exterior.

	Ligero						Medio						Pesado					
	CA	CA	CA	SA	SA	SA	CA	CA	CA	SA	SA	SA	CA	CA	CA	SA	SA	SA
% Acris.	10	50	90	10	50	90	10	50	90	10	50	90	10	50	90	10	50	90
Hora 0	47	50	53	41	44	44	46	49	52	31	33	36	34	38	42	22	25	29
1	19	18	17	20	19	19	17	17	16	16	16	15	9	9	9	9	9	9
2	11	10	9	12	11	11	9	9	8	11	10	10	6	6	5	6	6	6
3	6	6	6	7	7	7	5	5	4	7	7	7	5	4	4	5	5	5
4	4	4	4	5	5	5	3	3	3	6	5	5	4	4	4	5	5	4
5	3	3	2	4	3	3	2	2	2	4	4	4	4	3	3	4	4	4
6	2	2	2	3	3	3	2	2	2	4	4	3	3	3	3	4	4	4
7	2	1	1	2	2	2	1	1	1	3	3	3	3	3	3	4	4	4
8	1	1	1	2	1	1	1	1	1	3	3	2	3	3	3	4	3	3
9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	3	3	2	3	3	3
10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	3	2	2	3	3	3
11	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	3	3	3
12	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	3	3	3
13	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	3	3	2
14	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	2	2	2	3	2	2
15	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	2	2	2	3	2	2
16	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2
17	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2
18	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	2	2	1	2	2	2
19	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	2	2	1	2	2	2
20	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	2	1	1	2	2	2
21	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	2	2	2
22	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	2	2	1
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	2	2	1

CA con alfombra en el suelo.

SA sin alfombra en el suelo.

%Acris. porcentaje de acristalamiento de la pared exterior.

Ligero (paredes exteriores industriales tipo sándwich).

Medio (paredes exteriores de ladrillo).

Pesado (paredes exteriores con hormigón).

Tabla 2.6: RTS (porcentaje decaído en el tiempo de cómo se transforma la energía intercambiada por radiación en convección al aire). Radiación no solar. Zona con todas las paredes interiores. Misma notación que la tabla 2.4.

	Ligero		Medio		Pesado	
	CA	SA	CA	SA	CA	SA
Hora 0	46	41	45	30	33	22
1	19	20	18	17	9	9
2	11	12	10	11	6	6
3	7	8	6	8	5	5
4	4	5	4	6	4	5
5	3	4	2	4	4	4
6	2	3	2	4	3	4
7	2	2	1	3	3	4
8	1	2	1	3	3	4
9	1	1	1	2	3	3
10	1	1	1	2	3	3
11	1	1	1	2	3	3
12	1	0	1	1	2	3
13	1	0	1	1	2	3
14	0	0	1	1	2	3
15	0	0	1	1	2	3
16	0	0	1	1	2	2
17	0	0	1	1	2	2
18	0	0	1	1	2	2
19	0	0	1	1	2	2
20	0	0	0	0	2	2
21	0	0	0	0	1	2
22	0	0	0	0	1	2
23	0	0	0	0	1	2

Tabla 2.7: RTS (porcentaje decaído en el tiempo de como se transforma la energía intercambiada por radiación en convección al aire). Radiación solar. Misma notación que la tabla 2.4.

	Ligero						Medio						Pesado					
	CA	CA	CA	SA	SA	SA	CA	CA	CA	SA	SA	SA	CA	CA	CA	SA	SA	SA
% Acris.	10	50	90	10	50	90	10	50	90	10	50	90	10	50	90	10	50	90
Hora 0	53	54	55	44	45	46	52	53	55	28	29	29	46	48	50	27	27	28
1	17	17	17	19	19	19	16	16	15	15	15	15	11	12	12	12	12	12
2	9	9	9	11	11	11	5	4	4	7	7	7	4	4	4	5	5	5
3	6	5	5	7	7	7	5	4	4	7	7	7	4	4	4	5	5	5
4	4	4	3	5	5	5	3	3	3	6	6	6	3	3	3	4	4	4
5	3	2	2	4	3	3	2	2	2	5	5	5	3	2	2	4	4	4
6	2	2	2	3	3	2	2	1	1	4	4	4	2	2	2	3	3	3
7	1	1	1	2	2	2	1	1	1	3	3	3	2	2	2	3	3	3
8	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	3	3	2	2	2	3	3	3
9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	3	3	3
10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	3	3	3
11	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	1	3	3	3
12	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	1	2	2	2
13	0	1	1	0	0	0	1	1	1	2	2	2	2	1	1	2	2	2
14	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	2	1	1	2	2	2
15	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2
16	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2
17	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2
18	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2
19	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	2	2	2
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	2	2	2
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	1	2	2	2
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	2	2	1
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1

Huecos

- Transmisión de calor a través de cerramientos semitransparentes. Se distingue entre aportes por conducción-convección (a través del coeficiente global de transferencia de calor del hueco, y por lo tanto incluye el intercambio de longitud de onda larga) y radiación solar (el cual debe tener en cuenta el factor solar del hueco, la fracción soleada y la transmisión de energía en función del ángulo de incidencia de la radiación solar).

Ventilación

- Transmisión de calor por ventilación e infiltración. No se considera inercia, depende del caudal manejado y de las condiciones del aire.

Ganancias Internas

- Transmisión de calor por ocupantes, luces y máquinas. Función de la cantidad de energía disipada por cada una de dichas contribuciones (que es función de la actividad, tipos de iluminaria, etc.).

Las características más destacables de este procedimiento son:

- Es un procedimiento simplificado, se entiende que en general aumenta algo las cargas (entre un 5 y 10 %) respecto al método anterior. Este porcentaje es mayor conforme mayor sea la superficie acristalada, (existe un método corrector ref. [42, 53]).
- En general es necesario el uso de un software adecuado para su cálculo, no obstante se pueden obtener tablas finales con las que poder evaluar las cargas en situaciones simples.
- No requiere gran tiempo de computación ni capacidad del ordenador.
- Mantiene la separación de aportación de cada contribución, por lo que presenta indicaciones al proyectista de cómo mejorar su diseño. En general es este el procedimiento utilizado para el cálculo de cargas térmicas.

Capítulo 3

Métodos de certificación energética

3.1. Métodos de certificaciones existentes

La certificación energética nace con el objetivo de informar de las emisiones de CO_2 fósil producida por el uso de equipos de climatización (calefacción, refrigeración y ACS) en los edificios. En España a partir del 31 de noviembre del 2007, con la entrada en vigor del Real Decreto RD 47/2007 se transpone en la legislación española la directiva europea 4790 (EPBD ref. [3]). Con lo que todas las viviendas de nuevas construcción deben tener su propia etiqueta energética que permitirá informar al interesado de las emisiones de CO_2 (en calefacción, refrigeración y agua caliente sanitaria) que tendrá una vivienda de nueva construcción.

Existen 6 etiquetas energéticas desde la letra A (menos contaminante) hasta la letra G (más contaminante).

Las etiquetas expresan la cantidad de emisiones anuales de $kgCO_2$ equivalentes por metro cuadrado de superficie útil de vivienda ($kgCO_2/m^2$) fósil y guardan relación con la cantidad de energía final (gas natural, gasóleo, energía eléctrica, y otros) que va a consumir la vivienda en calefacción, refrigeración y agua caliente sanitaria en una zona climática determinada. La figura (3.1) muestra la etiqueta energética de un edificio, y se determina según el siguiente desarrollo:

- Calcular la demanda de energía del edificio a proyectar. Para este cálculo el programa reconocido por la legislación, es el LIDER. Programa que facilita la verificación de la exigencia de limitación de la demanda energética según el código técnico de la edificación (HE1) ref. [4], también se usan métodos simplificados para la verificación de HE1. Los datos de partida que se deben introducir al programa LIDER son: características de la vivienda (zona climática, tipo de vivienda), la descripción del edificio, (modelado 3d) que incluye las siguientes características: geometría del edificio, composiciones empleadas para las distintas tipología de muros y huecos, elementos de protección solar, puentes térmicos, ventilación, condiciones ambientales (en relación a las zonas climáticas) y la cantidad de cargas internas (cuando se trata de un edificio terciario).

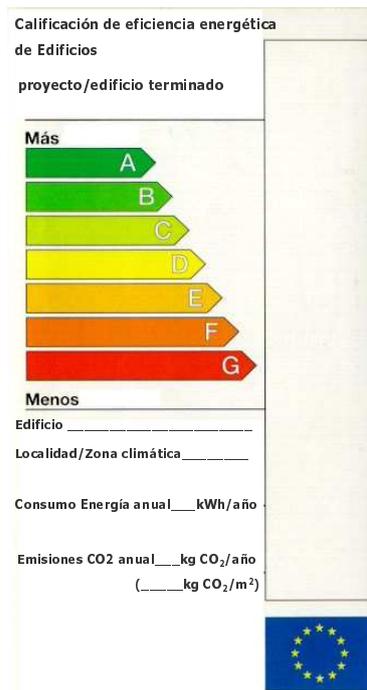


Figura 3.1: Etiqueta de eficiencia energética de edificios.

- La calificación energética se desarrolla con los programas reconocidos por la legislación, programas CALENER (método de cálculo desarrollado entorno al programa DOE-2 ref. [24]) , el proceso requiere la introducción de los distintos sistemas empleados para las necesidades de agua caliente sanitaria, calefacción y refrigeración. De ellos es necesario acompañar sus respectivas características técnicas como son: potencias, rendimientos y caudales. La estimación de la calificación energética es producto de comparar el edificio modelado por el usuario “edificio objeto”, con un “edificio de referencia”. En viviendas residenciales la calificación real se establece en comparación con unos valores de referencia fijos tabulados para cada una de las capitales de provincia y zona climática, ver Apéndice B. A partir de la ecuación de índice de calificación de eficiencia energética C1, ecuación (B.1), se establece la calificación energética.

En la actualidad los métodos vigentes de la legislación española para certificación energética en edificios unifamiliares y en bloque son: el CALENER VYP (método general) [16] y la opción simplificada CE1 [38]. Adicionalmente a estos programas se desarrollaron otros programas alternativos que son métodos simplificados como: el CE2, procedimiento simplificado para certificación de eficiencia energética de edificios de viviendas, desarrollado por la Universidad de Sevilla ref.[22], el CES (certificación energética simplificada) desarrollado MIYABI ref. [41], CERMA (Calificación Energética Residencial Método Abreviado) desarrollado por la Universidad Politécnica de Valencia junto al Instituto Valenciano de la Edificación y ATECYR ref. [56], herramienta que es objeto de estudio en este documento.

Los programas CERMA, CE2 y CES actualmente son documentos reconocidos por la legislación española (puede ser usado para la calificación energética en toda España).

En esta parte del trabajo se hablará de todos los programas de certificación existentes en España. De cada uno de ellos se describen los elementos más importantes que consideran para la certificación.

3.2. CALENER VYP

Es el programa oficial de certificación energética de la legislación española ref. [16] de acuerdo al RD 47/2007. Herramienta informática destinada para calificar viviendas residenciales y pequeños terciarios, cuyas instalaciones térmicas y de agua caliente sanitaria (ACS), se puedan simular con alguno de los modelos que el programa trae adscrito, previo cumplimiento de la HE1.

La metodología de cálculo de CALENER VYP se encuentra descrito en la tesis doctoral de J. Coronel (1998), ref. [55], implementado en el programa ESTO-2.

De acuerdo al RD 47/2007, la calificación de eficiencia energética asignada al edificio, se basa en las emisiones totales previsibles de $kgCO_2/m^2$ fósil que ese edificio va emitir durante un año.

$$Emisiones_servicio(kg_CO_2) = \sum consumo_servicio(kWh) \cdot coef_paso \left(\frac{kg_CO_2}{kWh} \right) \quad (3.1)$$

Las emisiones del edificio a analizar son producto de la energía que utilizan las instalaciones que la abastecen, obteniendo en consecuencia, un consumo de diferentes tipos de energía utilizada (denominada energía final), y traduciéndolas en unas emisiones de CO_2 a través de los coeficientes de paso tabla (3.1).

Durante el proceso de asignación de la calificación final se pueden igualmente calificar los distintos componentes que conforman la emisión global del edificio, y que dan información sobre el aspecto que más nos perjudica con vistas a una posible mejora de la calificación final:

- Demanda de calefacción.
- Demanda de refrigeración.
- Emisiones de climatización.
 - Calefacción.
 - Refrigeración.
- Emisiones de ACS.
- Emisiones de iluminación (solo en el caso de edificios terciarios, en el sector residencial el comportamiento es fijo y siempre será el mismo).

Tabla 3.1: Coeficientes de paso de energía a emisiones de CO_2 fósil.

Paso de energía final a emisiones de CO_2			
Energía térmica			
	Coef. Paso a Tep energía primaria	Coef. Paso Kw/h energía primaria	Coef. Paso a g CO_2
Gas Natural	0.087 tep/MWht	1.011 kWh/kWht	204 g CO_2 /kWht
Gasoleo-C	0.093 tep/MWht	1.081 kWh/kWht	287 g CO_2 /kWht
GLP	0.093 tep/MWht	1.081 kWh/kWht	244 g CO_2 /kWht
Carbon uso domestico	0.087 tep/MWht	1 kWh/kWht	347 g CO_2 /kWht
Biomasa	neutro	neutro	Neutro
Biocarburantes	neutro	neutro	Neutro
Solar térmica	0	0	0
Electricidad			
Convencional peninsular	0.224 tep/MWht	2,603 kWh/kWht	649 g CO_2 /kWht
Convencional extra-peninsular	0.288 tep/MWht	3,347 kWh/kWht	981 g CO_2 /kWht
Solar Fotovoltaica	0	0	0
Horas valle peninsular	0.174 tep/MWht	2,603 kWh/kWht	517 g CO_2 /kWht
Horas valle extra-peninsular	0,288 tep/MWht	3,347 kWh/kWht	981 g CO_2 /kWht

Fuente: IDAE Documento de condiciones de aceptación de procedimientos alternativos-Anexo VI(2007)

- Emisiones totales.

La siguiente figura son resultados que muestra el programa al realizar una certificación energética en edificios residenciales.

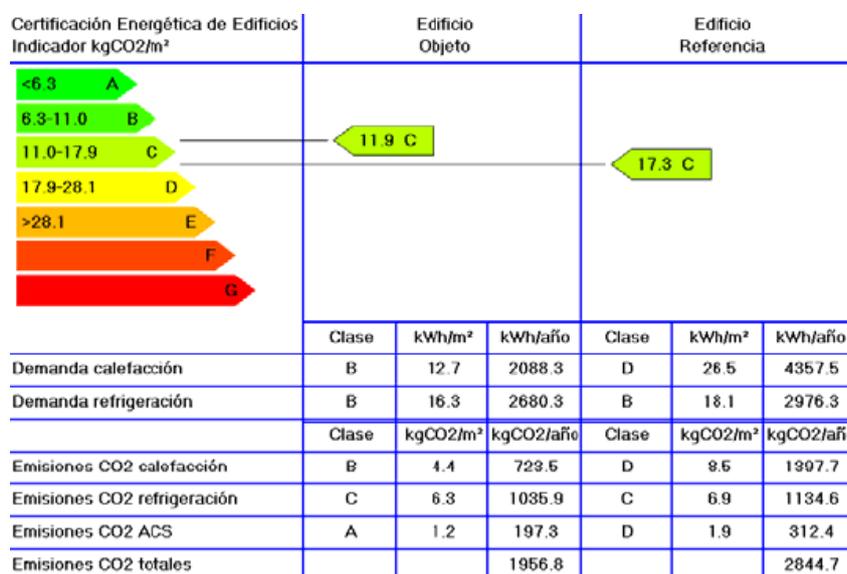


Figura 3.2: Plantilla de resultados programa CALENER VYP. Fuente: CALENER VYP versión 1.0.

Se considera en el cálculo un umbral de las demandas mensuales de calefacción o refrigeración, de forma que no serán computadas las demandas mensuales que no superen los umbrales siguientes:

Tabla 3.2: Opciones de obtención de clase D para bloque de viviendas en las zonas A4, B3, B4, C3 y C4.

CONCEPTO		OPCIONES DE OBTENCIÓN DE CLASE D			
		Opción 1	Opción 2	Opción 3	
Envueta	Compacidad	≥2.5	≥2.5	<2.5	
Instalación de calefacción	Bomba de calor-Aparatos Divididos	D	Todos	D	
	Bomba de calor-Aparatos Compactos	C	Todos	C	
	Bomba de calor-Aparatos Conducto Único	B	F	B	
	Caldera Individual	-	G.N. Todas	LIQ/GLP **	-
	Caldera Ind. mixta con acumulación	-	G.N. Todas	LIQ/GLP **	-
	Caldera Ind. mixta sin acumulación	-	G.N. **		-
	Caldera centralizada	-	G.N. Todas	LIQ/GLP ****	-
	Caldera centralizada mixta	-	G.N. Todas	LIQ/GLP **	-
	Caldera eléctrica efecto Joule	-	-	-	-
Instalación de refrigeración	Aire/Aire - Aparatos Divididos	Todos	D	A	
	Aire/Aire - Aparatos Compactos	Todos	C	-	
	Aire/Aire - Aparatos Conducto Único	Todos	A	-	
Instalación de ACS	Caldera sin acumulación	Todas	Todas	Todas	
	Caldera con acumulación	Todas	Todas	Todas	
	Caldera centralizada mixta	Todas	Todas	Todas	
	Caldera eléctrica efecto Joule	Todas	Todas	Todas	

Fuente: Ministerio de Industria Turismo y Comercio

- 1.2 kWh/m² para calefacción.
- 1.5 kWh/m² para refrigeración.

3.3. Opción simplificada de certificación CE1

Método utilizado para viviendas residenciales ref. [38]. Proporciona la calificación de eficiencia energética de manera indirecta, a través de un conjunto de soluciones técnicas definidas más adelante (para el caso de la zona climática “B3” como ejemplo). Antes de utilizar este método, se requiere verificar el cumplimiento de los requisitos mínimos de la HE1 del edificio a proyectar. Las soluciones técnicas están definidas para las diferentes zonas climáticas de España, que incluye un conjunto alternativo de combinaciones posibles, la utilización de ésta opción sólo permite obtener clases de eficiencia energética D o E.

Se obtiene la calificación energética clase “D” en edificios que cumplan con los requisitos mínimos del Código Técnico HE1 y posean equipos que estén dentro del cumplimiento de cualquier combinación de las tablas de soluciones técnicas de las diferentes opciones.

Por defecto tendrán calificación energética clase “E”, en el caso que los edificios se limiten a cumplir los requisitos del Código Técnico y no demuestren ningún otro aspecto relativo a sus prestaciones energéticas.

Los valores de las tablas (3.2) corresponden a la zona climática B3 Valencia.

El uso de las tablas está en función de la compacidad del edificio (se entiende

por compacidad al ratio entre el volumen acondicionado y la superficie de la envolvente térmica que separe este volumen del exterior, incluido el suelo), del equipo que uno elija y las combinaciones que realice. Por ejemplo, para un edificio con compacidad mayor o igual a 2.5 de la tabla (3.2) observamos que se tiene como sistema de calefacción solo Bombas de calor. Estas son: divididos, compactos o conductos, de clase energética D, C o B. Para la instalación de refrigeración se puede utilizar todos los sistemas de refrigeración contemplados en la tabla (3.2) y de la misma manera para la instalación de ACS.

Por consiguiente, el edificio del ejemplo obtendría una calificación energética de clase D solo en el caso de cumplir los requisitos mínimos de la HE1, sino seguirá siendo E.

Los inconvenientes que se puede verificar en este tipo de calificación son:

- Localidades para las que en el proyecto de los edificios no se suele especificar ningún sistema de calefacción y refrigeración.
- Edificios cuya cobertura de agua caliente sanitaria vía renovable es inferior a los valores del CTE-HE4.
- Sistemas no incluidos en la lista.
- No poder tener una calificación energética mayor a D.
- Poseer elementos de huecos menos del 60 %.

El Instituto Valenciano de la Edificación puso a disposición del público el método anterior en formato digital ref. [20] y lo distribuye en forma gratuita. El programa se llama OSE (Opción Simplificada en Energía) en la figura a continuación se muestra una pantalla de la herramienta informatizada.

Figura 3.3: Aplicación informática programa O.S.E. Fuente: Instituto Valencia de la Edificación (<http://www.five.es>).

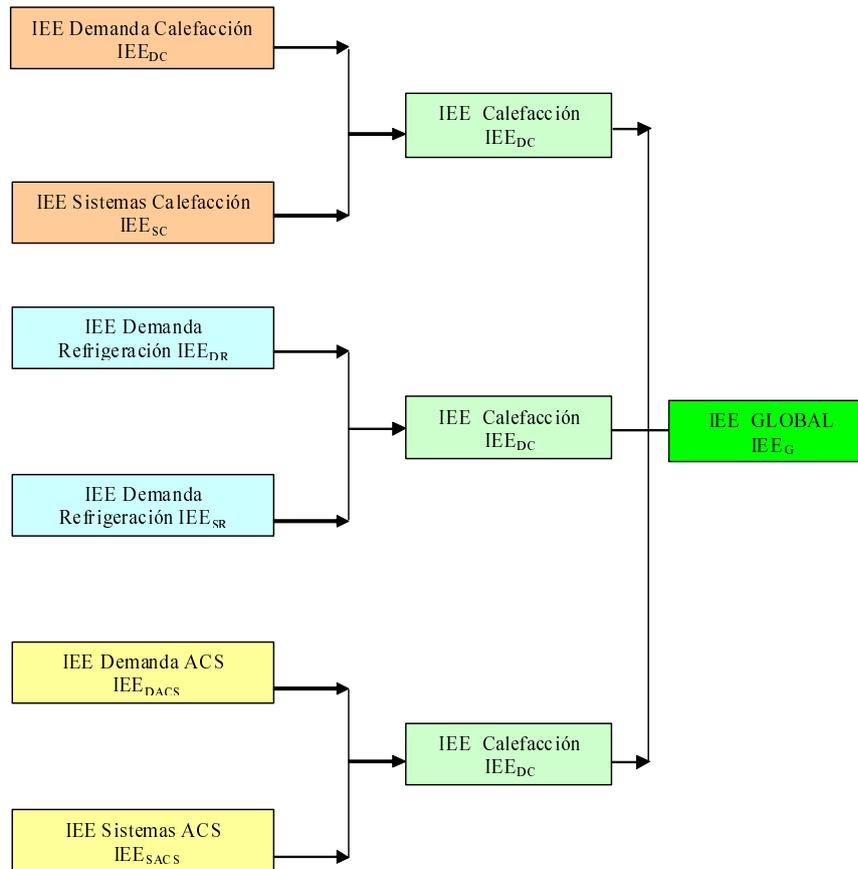


Figura 3.4: Procedimiento de cálculo de CE2.

3.4. CE2 Certificación Energética de edificios de viviendas

El procedimiento simplificado de viviendas CE2 ref. [22], utiliza el Indicador de Eficiencia Energética Global IEEG para obtener la calificación energética en edificios residenciales de nueva construcción. Los pasos a seguir para obtener el IEEG se muestra en la figura (3.4). Los datos de partida necesarios para obtener la calificación son: características de la vivienda (el tipo de vivienda, zona climática, latitud), superficie útil y volumen, áreas y parámetros característicos de las fachadas (área de muros opacos, transmitancia media de los muros opacos, área de huecos, transmitancia media de los huecos, factor solar y datos relativos a la protección de los elementos de huecos), además de valores medios de los puentes térmicos. A ello se suma la fracción de la demanda de ACS cubierta para el cumplimiento de la DB HE4, y los datos relativos de las instalaciones de calefacción y refrigeración.

La calificación energética, se obtiene determinado por separado los índices energéticos tanto para calefacción, refrigeración y agua caliente sanitaria. El valor

del resultado obtenido es conservador con referencia al programa CALENER VYP.

Actualmente la metodología propuesta se encuentra informatizada en una hoja Excel que se muestra en la figura siguiente.

El procedimiento explicado, no puede ser usado cuando el porcentaje de huecos en cada fachada sea superior al 60 % de su superficie, o el porcentaje de lucernarios sea mayor al 5 % de la superficie total de la cubierta.

F _G	FICHA PARA EL CALCULO DEL INDICADOR DE EFICIENCIA ENERGÉTICA GLOBAL IEE _G		Zona Invierno	D																
			Zona Verano	3																
			Tipología	Bloque																
PROYECTO	Edificio Bloque																			
UBICACIÓN	Madrid																			
SITUACIÓN EN EL ESQUEMA GENERAL																				
CALCULO DEL INDICADOR DE EFICIENCIA ENERGÉTICA GLOBAL IEE_G																				
	IEE Demanda	IEE Sistemas	IEE	Coeficientes de Reparto																
Calefacción	IEE _{DC} = 0,85	IEE _{SC} = 0,85	IEE _C = 0,72	0,75	0,54															
Refrigeración	IEE _{DR} = 1,95	IEE _{SR} = 1,07	IEE _R = 2,09	0,14	0,29															
ACS	IEE _{DACS} = 0,6	IEE _{SACS} = 1,9	IEE _{ACS} = 1,14	0,11	0,13															
IEE Global					0,96															
CALIFICACIÓN ENERGÉTICA																				
Indicador de Eficiencia Energética Global	Valor	CALIFICACIÓN ENERGÉTICA	<table border="1"> <thead> <tr> <th>A</th> <th>IEE <</th> <th>0,37</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>B</td> <td><= IEE <</td> <td>0,60</td> </tr> <tr> <td>C</td> <td><= IEE <</td> <td>0,93</td> </tr> <tr> <td>D</td> <td><= IEE <</td> <td>1,43</td> </tr> <tr> <td>E</td> <td><= IEE <</td> <td>--</td> </tr> </tbody> </table>			A	IEE <	0,37	B	<= IEE <	0,60	C	<= IEE <	0,93	D	<= IEE <	1,43	E	<= IEE <	--
A	IEE <	0,37																		
B	<= IEE <	0,60																		
C	<= IEE <	0,93																		
D	<= IEE <	1,43																		
E	<= IEE <	--																		
IEE _G	0,96	D																		

Figura 3.5: Hoja excel plantilla Ce2 Simplificado Viviendas.

Fuente: (<http://www.mityc.es/energia/desarrollo/EficienciaEnergetica/CertificacionEnergetica>).

3.5. CES Certificación Energética Simplificada

El programa CES es un programa desarrollado por MIYABI en la Comunidad autónoma de Navarra ref. [41], permite de una manera muy sencilla e intuitiva analizar un edificio y calcular la calificación energética.

Este procedimiento basa la certificación, por comparación de datos introducidos por el usuario con una base de datos parametrizados. La base de datos

paramétricos es producto de 50.000 edificios simulados en el programa CALENER VYP.

La base de datos está compuesta por diferentes variables que influyen en el edificio y estas son: la zona climática (12 zonas climáticas), tipo de edificio, orientación, forma del edificio, compacidad del edificio, ventilación, transmitancia térmica de los cerramientos opacos del edificio, masa de los cerramientos, porcentaje de hueco en fachadas, transmitancia térmica de los cristales, factor solar de los vidrios, elementos de sombra, puentes térmicos, instalaciones (para diferentes rendimientos de instalaciones) y cobertura de ACS. Todas las variables mencionadas han sido parametrizadas de forma que se puedan comparar edificios con características similares.

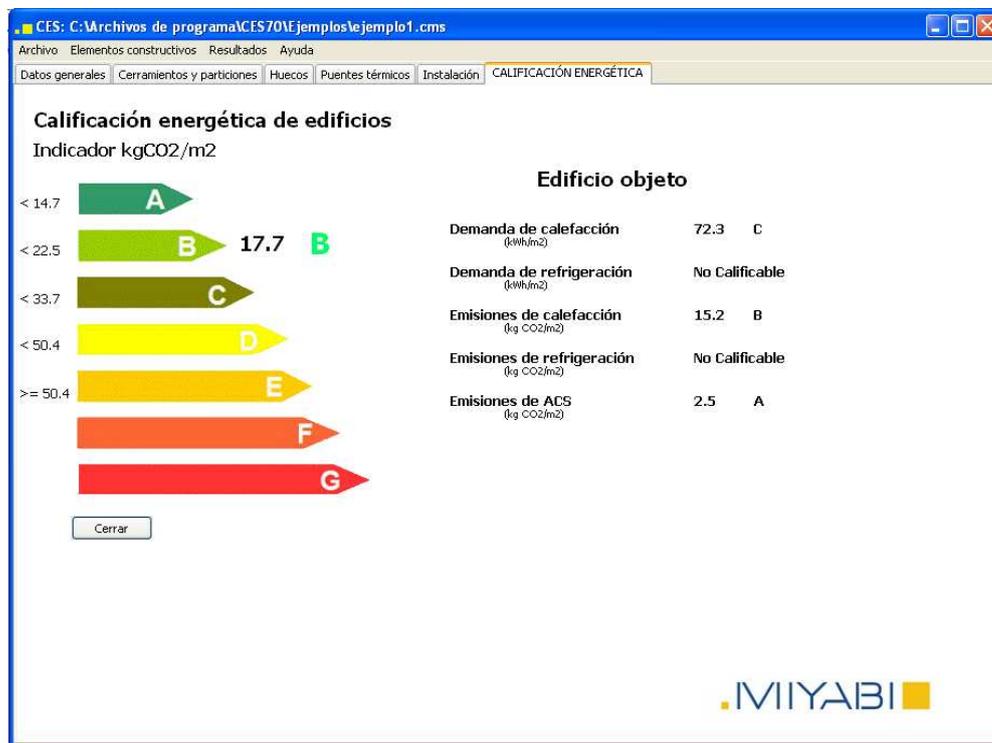


Figura 3.6: Aplicación informática programa CES. Fuente: Programa CES (MIYABI pag. web. <http://www.miyabi.es>).

La herramienta informática es válida para edificios residenciales de nueva construcción en los que la verificación del Código Técnico de Edificación HE1 se haya realizado por la vía simplificada. Su utilización es gratuita; según los autores del programa en los ensayos de validación y comprobación observaron que la diferencia media entre los resultados de CES y los resultados de CALENER VYP es del orden del 8 % de las emisiones globales.

Los inconvenientes que se evidencia en los dos últimos programas mencionados, es que ambos trabajan con potencia media estacional. Evidentemente el programa CE2 solicita al usuario la potencia nominal, pero corrige este valor en

función de factores de ponderación según la zona climática, tipo de equipo y el combustible. El factor de corrección está de acuerdo al documento reconocido “Prestaciones medias estacionales de equipos y sistemas de producción de frío y calor en edificios de viviendas” ref. [18].

3.6. Ventajas e inconvenientes entre los diferentes programas de certificación energética

Para culminar con este apartado, en la tabla (3.3) se muestra un resumen de las ventajas e inconvenientes entre los diferentes programas de certificación energética para edificios residenciales (de acuerdo a la normativa española).

Tabla 3.3: Ventajas e inconvenientes entre los diferentes programas de certificación energética.

Programa	Simulación	Definición geométrica	Rapidez de cálculo	Ayuda en el diseño	Curvas de equipos
CALENER VYP	Si	3d	No	No	Si
CERMA	Si	simplificado*	Si	Si	Si
CE2	No	simplificado	Si	No	No
CES	No	simplificado	Si	Si	No

*Simplificado: el edificio se define geoméricamente a partir de las longitudes y áreas de los diferentes cerramientos en sus respectivas orientaciones.

Capítulo 4

Método abreviado de certificación energética

El procedimiento propuesto consiste en realizar una simulación horaria (8760 *horas*) del comportamiento del edificio y las instalaciones existentes, con el fin de determinar las emisiones de CO_2 fósil y la calificación de eficiencia energética, correspondiente al RD 47/2007 ref. [13].

En su concepción, el método propuesto de certificación energética se basa en:

- Consideración del edificio como una única zona térmica (la temperatura también se puede representar como una única en la zona térmica). Suposición aceptable en certificación residencial por imponer el único control en todos los locales habitables. Pudieran aparecer ligeras discrepancias en edificios con zonas interiores muy importantes en diversas orientaciones.
- Una pre-simulación (mediante factores de respuesta) del calor transferido por los cerramientos opacos y cerramientos semitransparentes con la consideración de locales a temperatura constante de $22.5^{\circ}C$. Valores obtenidos, para un año tipo (8760 *horas*) a partir del programa de vpCLIMA del Departamento de Termodinámica Aplicada de la U.P.V. grupo FRESOL, ver referencia [57].
- La conversión de ganancia en carga en el interior de la zona térmica se realiza a partir del método de *RTS* (Radiant Time Series). De esta forma se realiza la adecuada distribución de las ganancias convectivas y radiantes en el interior. Las ganancias convectivas se convierten en cargas inmediatamente y las ganancias radiantes incidirán sobre elementos como alfombras, muebles, paredes interiores, techos y suelos. Los valores *RTS*, en el caso (radiación solar, ocupación, iluminación) se aplican a las ganancias que alcanzan los cerramientos de forma radiantes y que son transferidas al aire, transformando parte de la ganancia radiante en ese instante y parte en instantes posteriores. Se usa valores del *RTS* con el 10 % de superficie acristalada (valor normal en vivienda), muro de peso medio, sin alfombra. Valores definidos como no solar ya referenciados en el capítulo 2.

- Una corrección del calor transferido en cada hora a lo largo del año en función del control impuesto, por estar a una temperatura diferente de 22.5°C, por no estar controlada la temperatura en dicho instante, o finalmente por variar el control impuesto. Se estima mediante el balance de energía en el aire.
- Una estimación de la energía total utilizada por los equipos para compensar las demandas de energía, en cada hora a lo largo del año, considerando tanto cargas parciales como condiciones operacionales (temperaturas exteriores/interiores).
- La necesaria conversión a emisiones de CO_2 en función del tipo y cantidad de energía consumida (coeficientes de paso del uso del tipo de energía a emisiones de CO_2 , impuesto por el Ministerio de Industria Turismo y Comercio de España, tabla 3.1).
- Finalmente para edificios residenciales la estimación del valor de la etiqueta energética, se obtiene como la suma de los elementos que contribuyen al total de producción de CO_2 (calefacción, refrigeración y agua caliente sanitaria), con el correspondiente índice de corrección de la calificación energética, tal como se recoge en el Real Decreto 47/2007.

4.1. Hipótesis

- Las zonas acondicionadas del edificio se considera como una única zona térmica.
- El edificio se definirá mediante las superficies fijando en todas ellas su área, orientación y las soluciones constructivas (opacas o semitransparentes) asociadas, que delimitan la zona térmica es decir:
 - Cerramientos opacos (exteriores, a otro local, adiabáticos, en contacto con el terreno, a vacío sanitario), se define a partir de:
 - La superficie de cada cerramiento, y la inercia térmica de cada uno.
 - Coeficiente transferencia de calor U de los cerramientos opacos.
 - Orientación del cerramiento (exterior).
 - Sombras.
 - ◊ De otros edificios o por el mismo edificio.
 - Huecos (cristales y marco) o claraboyas, definidos a partir de:
 - El coeficiente transferencia de calor U del hueco.
 - Factor solar de los huecos.
 - Superficie huecos.

- Orientación huecos.
- Sombras.
 - ◇ Retranqueo.
 - ◇ Toldos o voladizos y protecciones permanentes.
- Ventilación.
 - Número de renovaciones hora.
- Sistemas de acondicionamiento.
 - Las prestaciones de todos los sistemas varían en función de:
 - Condiciones operacionales (varía en función de carga parcial, condiciones exteriores...).
 - Coeficientes de paso (de acuerdo al tipo de energía utilizada).
 - Se distinguen en:
 - Sistema de Calefacción.
 - Sistema de Refrigeración.
 - Sistema de ACS.

La expresión que determina la cantidad de $kgCO_2$ fósil del edificio es:

$$I_{objeto} = \int_{\text{año}} \frac{\frac{Demanda_{Calefacción}}{S_{suelo}}}{\frac{\eta_{Calefacción}}{C_{coef-paso}}} + \int_{\text{año}} \frac{\frac{Demanda_{ASC}}{S_{suelo}}}{\frac{\eta_{ASC}}{C_{coef-paso}}} + \int_{\text{año}} \frac{\frac{Demanda_{Refrigeración}}{S_{suelo}}}{\frac{\eta_{Refrigeración}}{C_{coef-paso}}} \quad (4.1)$$

Los coeficientes de paso de energía a emisiones de CO_2 son valores facilitados por la administración, para diferentes tipos de energía utilizadas, valores que están descritos en la tabla (3.1).

El rendimiento de los equipos está en función de las condiciones operacionales de funcionamiento, que varía en función de la carga parcial y las condiciones exteriores de funcionamiento. En el capítulo 5 se comentan las curvas de comportamiento de cada uno de los equipos, para corregir las potencias nominales.

La calificación energética de un edificio es la relación entre las emisiones del edificio proyectado (edificio objeto) respecto a un edificio referencia (fijada por la administración). Relación que se define como Indicador de Eficiencia Energética.

$$IEE_{global} = \frac{I_{objeto}}{I_{Reglamentación}} \quad (4.2)$$

A partir de este valor se obtiene el índice de calificación energética C1.

$$C_1 = \frac{\left(\frac{I_{objeto}}{I_{Reglamentación}} \cdot R \right) - 1}{2 \cdot (R - 1)} + 0.6 \quad (4.3)$$

donde:

R es el ratio del indicador correspondiente al percentil 50/10.

Tanto I de reglamentación como el ratio R correspondiente a la anterior ecuación, dependen de la zona climática. Valores fijos conocidos se proporcionan en el apéndice B.

Con la misma técnica se califican: la demanda de calefacción, demanda de refrigeración, emisiones de calefacción, refrigeración y ACS.

4.2. Cálculo de la demanda de calefacción y refrigeración

La cantidad de energía que es transferida en un local, cuando este se mantiene a una temperatura constante se compone de los siguientes términos:

4.2.1. Transferencia por cerramientos opacos

Existen varios procedimientos para determinar la transmisión de calor en régimen transitorio a través de un cerramiento cuando se conoce la evolución de la temperatura en ambas caras, en este trabajo se utiliza la metodología de los factores de respuesta ref. [32, 46]. Cuando a una parte del mismo realizamos una evolución de la temperatura de forma triangular (de altura un grado y amplitud 2h), como se ve en la figura (4.1). El calor transferido al recinto por la cara interior de un cerramiento utilizando factores de respuesta se puede expresar mediante:

$$G_{intro\ cerr, Orient}(n) = A_{cerr, Orient} \left[\sum_{j=0}^{\infty} Y(j) T_{sa, Orient}(n-j) + \sum_{j=0}^{\infty} Z(j) T_{sx}(n-j) \right] \quad (4.4)$$

El cual de forma aproximada (sí la inercia está bien representada) se podrá expresar en función de un muro normalizado como:

$$G_{intro\ cerr, Orient}(n) = A_{cerr, Orient} U_{cerr, real} \frac{1}{U_{Norm}} \left[\sum_{j=0}^{\infty} Y_N(j) T_{sa, Orient}(n-j) + \sum_{j=0}^{\infty} Z_N(j) T_{sx}(n-j) \right] \quad (4.5)$$

Nota:

- Los factores con subíndice “ N ” se refiere a un cerramiento tomado como estándar o normalizado.
- G simboliza la ganancia.

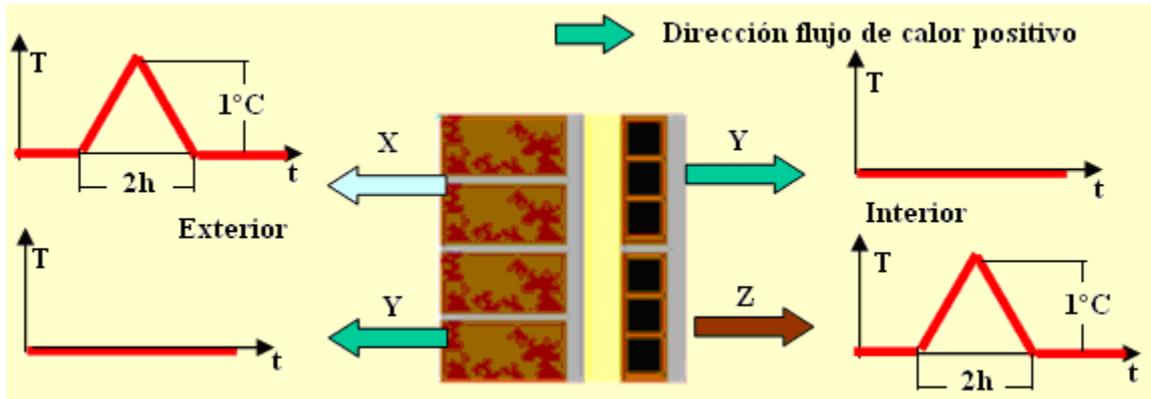


Figura 4.1: Factor de respuesta de un cerramiento opaco ante una excitación de temperatura.

- C_{carga} simboliza la carga.

donde:

$T_{sa}(n - j)$ temperatura sol aire a la hora “ $n - j$ ” (se comenta más adelante la determinación del mismo en cada caso: muro, techo y suelo al exterior) y depende de:

localidad, día y hora, orientación y color.

$T_{sx}(n - j)$ temperatura equivalente del local a la hora “ $n - j$ ” (media ponderada con los coeficientes de convección equivalentes para las temperaturas de pared y aire, sería diferente para cada cerramiento).

$Y_N(j)$ flujo de calor en la hora “ j ” por la cara interior del cerramiento cuando se realiza la excitación triángulo de temperatura en el exterior (excitación en el exterior y respuesta en el interior). Sobre un cerramiento normalizado o estándar.

$X_N(j)$ flujo de calor en la hora “ j ” por la cara exterior cuando se realiza la excitación triángulo de temperatura en el exterior (excitación en el exterior y respuesta en el exterior). Sobre un cerramiento normalizado o estándar.

$Z_N(j)$ flujo de calor en la hora “ j ” por la cara interior del cerramiento cuando se realiza la excitación triángulo de temperatura en el interior (excitación en el interior y respuesta en el interior). Sobre un cerramiento normalizado o estándar.

$U_{cerr,real}$ coeficiente global de transferencia de calor del cerramiento real del proyecto ($U_{cerr,real} = \sum Y(j) = -\sum Z(j) = \sum X(j)$).

U_{Norm} coeficiente global de transferencia de calor del cerramiento normalizado.

$$(U_{Norm} = \sum Y_N(j) = - \sum Z_N(j) = \sum X_N(j)).$$

Como se observa el valor entre corchetes, dividido por U_{Norm} representa el calor que se transfiere al interior por unidad de superficie de un cerramiento que tuviera un coeficiente global de transferencia de calor unidad, siempre y cuando la inercia esté bien representada. Los cerramientos se pueden clasificar utilizando 2 parámetros (su coeficiente global de transmisión de calor y su inercia térmica, peso)¹ ref.[49].

Realizando una descomposición con la temperatura de 22.5 °C como temperatura interior, se tiene:

$$G_{intro\ cer, Orient}(n) = A_{cerr, Orient} U_{cerr, real} \cdot \left[\frac{\sum_{j=0}^{\infty} Y_N(j) \cdot T_{sa, Orient}(n-j) + 22.5 \sum_{j=0}^{\infty} Z_N(j)}{U_{Norm}} - \right. \\ \left. -22.5 \frac{\sum_{j=0}^{\infty} Z_N(j)}{U_{Norm}} + \frac{\sum_{j=0}^{\infty} Z_N(j) \cdot T_{sx}(n-j)}{U_{Norm}} \right]$$

donde, el primer término corresponde al flujo de calor que atraviesa el cerramiento estándar dividido por el coeficiente global de dicho cerramiento cuando el interior permanece a 22.5°C. El cual le denominaremos como ganancia de calor de un cerramiento normalizado (exterior y en su respectiva orientación), valores que se estiman para las diferentes zonas climáticas y diferentes orientaciones, mediante el programa vpCLIMA ref. [57].

$$G_{CerrhOrient}(n) = \left(\frac{\sum_{j=0}^{\infty} Y_N(j) T_{sa, Orient}(n-j) + 22,5 \sum_{j=0}^{\infty} Z_N(j)}{U_{Norm}} \right) \quad (4.6)$$

El segundo término es igual a 22.5°C (teniendo en cuenta la suma de los coeficientes $-Z_N(j) = U_{Norm}$).

$$-22.5 \frac{\sum_{j=0}^{\infty} Z_N(j)}{U_{Norm}} = 22.5 \quad (4.7)$$

El tercer término representa los términos precedentes o historia del cerramiento estándar normalizada por el hecho de no mantener la temperatura interior a 22.5°C.

$$\frac{\sum_{j=0}^{\infty} Z_N(j) T_{sx}(n-j)}{U_{Norm}} \quad (4.8)$$

Pudiendo expresar la ganancia de calor introducida por el cerramiento como:

$$G_{intro\ cerr, Orient}(n) = A_{cerr, Orient} U_{cerr, real} G_{Cerrh_{Orient}}(n) + A_{cerr, Orient} U_{cerr, real} 22,5 + \quad (4.9)$$

$$+ A_{cerr, Orient} Z_N^*(0) T_{sx}(n) + A_{cerr, Orient} \sum_{j=1}^{\infty} Z_N^*(j) T_{sx}(n-j)$$

siendo:

$A_{cerr, Orient} Z_N^*(0) T_{sx}(n)$ depende del valor actual de (T_{sx}) .

$A_{cerr, Orient} \sum_{j=1}^{\infty} Z_N^*(j) T_{sx}(n-j)$ depende de valores anteriores de (T_{sx}) .

además:

- $G_{Cerrh_{Orient}}(n)$ es la ganancia de calor por ese cerramiento ($U = 1$) suponiendo una temperatura interior constante de 22.5°C (igual de las paredes y el aire), valores obtenidos a partir del programa vpCLIMA.
- T_{sx} debe representar la temperatura equivalente al traspaso de energía por el cerramiento. Influye el efecto de la temperatura del aire (T_{aire}) y el resto de las paredes ($T_{superficie}$).
- $Z_N^*(j) = Z_N(j) \cdot U_{cerr, real} / U_{Norm}$.

4.2.1.1. Muro exteriores

La aplicación de lo descrito (párrafo anterior) al caso de muros conduce a las siguientes consideraciones:

- Solo existe un tipo de inercia térmica (se toma un muro de peso medio) ver la figura (4.2 y 4.3). En el capítulo 6 se hace un estudio con el programa oficial de certificación energética, de los diferentes tipos de inercia térmica (ligero, medio y pesado). De cara a la certificación energética el uso de uno u otro tipo de inercia, no repercute a la calificación energética. En esta propuesta se utiliza un peso medio como inercia tipo.
- Se considera el aislante una sola ubicación (justificación realizada en el capítulo 6).
- Las áreas utilizadas son internas, por tanto se obtiene a partir de las exteriores multiplicando por el factor de superficie (reducción del área neta debido a la existencia de forjados, los cuales son considerados como puentes térmicos), el factor de superficie se define a partir de:

$$F_{superficie} = \frac{Altura\ media\ planta - Espesor\ forjados}{Altura\ media\ planta} \quad (4.10)$$

La composición de materiales del muro exterior normalizado, se ve reflejada en la figura (4.3).

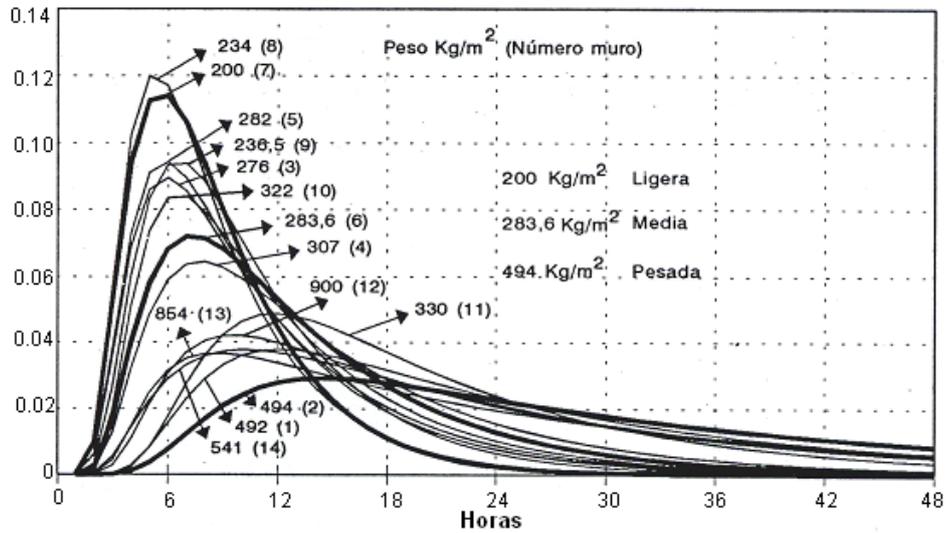
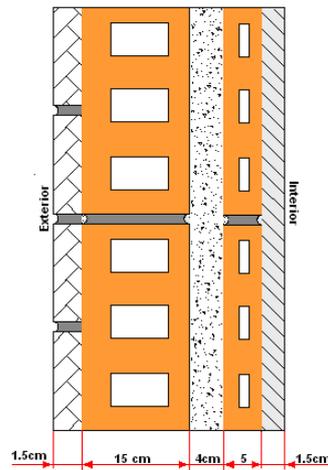


Figura 4.2: Características de la inercia térmica $(Y(j)/U)$ de diferentes muros. Fuente *Manual de climatización tomo II*.



	Espesor <i>m</i>	Conductividad <i>W/mK</i>	Densidad <i>kg/m³</i>	Calor específico <i>J/kgK</i>
Exterior				
Mortero de cemento	0.015	1.3	1900	1000
Ladrillo perforado	0.115	0.5	900	1000
Aislante	0.05	0.0416	30	1000
Ladrillo hueco	0.04	0.4	920	1000
Enlucido yeso	0.015	0.57	1100	1000
Interior				

Figura 4.3: Características, composición y dimensiones del muro exterior normalizado.

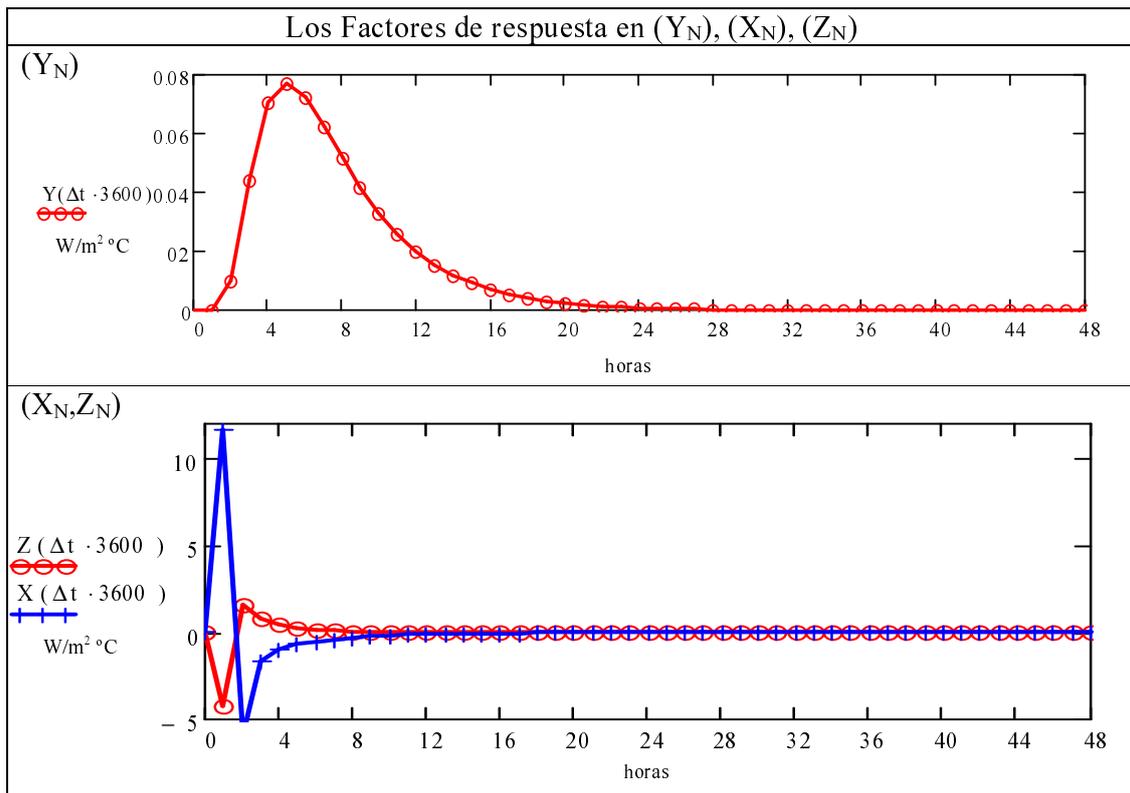


Figura 4.4: Factores de respuesta Y_N , X_N , Z_N , del muro exterior normalizado.

Los coeficientes globales de convección-radiación tanto exterior como interior según el Código Técnico de la Edificación HE1, son constantes y tienen el valor de:

$$h_{cre} = 25 \frac{W}{m^2 K} \quad y \quad h_{cri} = 7.7 \frac{W}{m^2 K}$$

Los factores de respuestas del muro exterior normalizado, que se utilizan en el cálculo se ven reflejados en las gráficas (4.4).

La temperatura sol aire (T_{sa}), es función de la radiación total, el coeficiente de absorción, la temperatura del cielo (T_c) (la determinación de T_c , está planteado en el manual técnico del programa Trnys ref.[10, 44, 45], más adelante se complementa la definición matemática), la temperatura seca y la temperatura del entorno. Este último valor en la metodología planteada consideramos despreciable, porque en frente existen otros edificios y no se tiene información valedera de la temperatura a la cual se encuentran.

La temperatura del cielo se utiliza para determinar el intercambio de radiación de onda larga desde la superficie externa a la atmósfera. Fundamentalmente es función de: temperatura ambiente exterior (T_{se} °C), temperatura del rocío (T_r °C), factor de nubosidad del cielo (C_{Cover}) y la presión atmosférica (P_{atm}).

Si los datos meteorológicos no incluyen el factor de nubosidad del cielo, Kasten C. ref. [10] define la siguiente ecuación:

$$C_{Cover} = \left(1.4286 \frac{I_T}{I_{Tmax}} - 0.3 \right)^{0.5} \quad (4.11)$$

La emisividad del cielo puede expresarse en función de la temperatura de rocío T_r , la presión total y la hora del día y se calcula mediante la siguiente ecuación ref. [45].

$$\begin{aligned} \varepsilon_0 = & 0.711 + 0.005T_r + 7.3 \cdot 10^{-5}T_r^2 + 0.013\cos\left(2\pi\frac{h}{24}\right) + \\ & + 12 \cdot 10^{-5} \left(\frac{P_{atm} - P_0}{100} \right) \end{aligned} \quad (4.12)$$

finalmente la temperatura del cielo se estima como:

$$T_c = T_s [\varepsilon_0 + (1 - \varepsilon_0) C_{Cover} 0.8]^{0.25} \quad (4.13)$$

La temperatura sol aire se define considerando que los muros al exterior ven un 25 % de cielo (este valor podría oscilar desde el 50 % en caso de edificios aislados, hasta un 15 % en caso de edificios en el interior de ciudades con calles estrechas). Se define a partir de:

$$T_{sa} = T_{se} + \frac{\alpha_{se} \cdot I_T - 0.25 \cdot (T_{se} - T_c) \cdot hre}{hcre} \quad (4.14)$$

donde:

I_T radiación total sobre la superficie (directa + difusa) (W/m^2).

α_{se} coeficiente de absorción a la radiación de la superficie exterior (0.75 correspondiente a pared de color medio pudiendo variar desde 0.9 color oscuro a 0.6 color claro-blanco).

El coeficiente equivalente de radiación - convección se linealiza y se expresa de esta manera (estando en este caso las temperaturas en K), se supone un valor emisor de 0.9 para radiación infrarroja y un área de cielo mucho mayor que la superficie.

$$hre = 0.9 \cdot \sigma \cdot (T_c^2 - T_s^2) \cdot (T_c - T_s) \quad (4.15)$$

donde:

σ constante de Stefan-Boltzmann ($5.76 \cdot 10^{-8} W/m^2 k^4$).

Con las características del muro de referencia y, ayudados por el programa vpCLIMA se determinan para las diferentes orientaciones los valores de la ecuación (4.6). Los 24 (0-23) primeros valores de factor de respuesta normalizado Z_N (valores representados en la figura 4.4), nos ayuda a determinar los valores de la ecuación (4.8).

Hay que considerar que cualquier cerramiento puede estar parcialmente en sombra (ya sea por el propio edificio o por edificios adyacentes). En este caso debemos estimar el área en sombra y considerar dicha parte del muro con una orientación al norte (a esta latitud la incidencia de la radiación directa no incide sobre la orientación norte).

Las sombras pueden provenir de otros edificios, de retranqueos o de salientes y entrantes del propio edificio:

- Para intentar contabilizar el efecto de sombras por otros edificios el programa propuesto solicita alturas (h) y distancia (dis) de los edificios que pudieran dar sombra en direcciones E, SE, S, SO, y O, estimándose un porcentaje en sombra en cada orientación.

Se aproxima la altura del edificio objeto y la altura que dicha sombra proyectada sobre el edificio, en 12 días al año, cuando el sol se encuentra en la misma dirección, realizando una media de las posibles sombras dependiendo de la orientación del cerramiento estudiado.

En la figura (4.5) el objetivo es determinar la distancia x . Distancia que a la hora determinada de cálculo el obstáculo (edificio B) le hace sombra al muro del edificio A, cuando el sol está en una determinada orientación (E, SE, S, SO, y O).

Se determina a partir saber el ángulo de proyección entre ambos edificios respecto al sol, (ver figura 4.5) y la correspondiente altura solar (hs) en dicha hora. Éste valor depende del ángulo horario (AH°), la latitud (LAT°), declinación (DEC°) y azimut (As°), se determina a partir de las siguientes ecuaciones:

$$\text{sen } hs = \text{sen}(LAT) \cdot \text{sen}(DEC) + \cos(LAT) \cdot \cos(DEC) \cdot \cos(AH) \quad (4.16)$$

$$\text{sen } As = \frac{\cos(DEC) \cdot \text{sen}(AH)}{\cos(hs)} \quad (4.17)$$

La declinación media para cada mes considerada se muestra a continuación.

	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct .	Nov.	Dic.
DEC												
($^\circ$)	20.23	11.48	0	11.48	20.23	23.45	20.23	11.48	0	-11.48	-20.23	-23.45

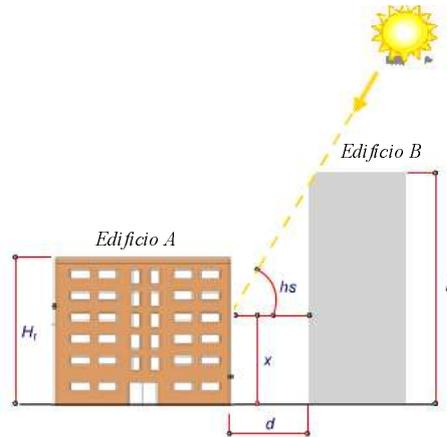


Figura 4.5: Proyección de sombra de otros edificios.

De la figura (4.5), por relaciones trigonométricas se tiene:

$$tg(hs) = \frac{h - x}{d} \quad (4.18)$$

De las anteriores ecuaciones podemos obtener la altura solar eliminando el ángulo horario (AH) entre ambas, es decir:

$$sen(hs) = \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4 \cdot a \cdot c}}{2 \cdot a} \quad (4.19)$$

$$\begin{aligned} a &= sen^2(LAT) + cos^2(As) \cdot cos^2(LAT) \\ b &= -2 \cdot sen(LAT) \cdot sen(DEC) \\ c &= sen^2(DEC) - cos^2(LAT) \cdot cos^2(As) \end{aligned} \quad (4.20)$$

Y finalmente el porcentaje del cerramiento en sombra se toma como:

$$Por_{sombra} = \frac{x}{H_t} \quad (4.21)$$

donde:

- H_t altura total del edificio proyectado (m).
- x distancia en sombra del edificios proyectado (m).
- h altura del edificio obstáculo (edificio que proyecta sombra) (m).
- d distancia entre el edificios proyectado y el edificio obstáculo (m).

El porcentaje de sombra será el promedio de cada una de las orientaciones, es decir, en la orientación sur será el promedio del porcentaje en sombra al sur, sur oeste y sur este. Sin embargo en la orientación este, será igual al de propia orientación (este) y al sur este, de forma similar para otras orientaciones. La gráfica siguiente es la pantalla donde el programa propuesto solicita ingresar los datos de los posibles obstáculos distancia (d) y altura (h) en las diferentes orientaciones.

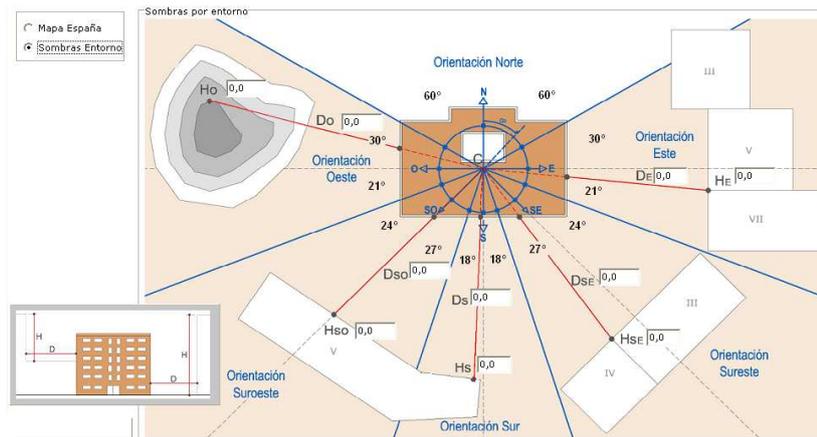


Figura 4.6: Pantalla de introducción de datos para contabilizar las sombras del entorno. Fuente: Programa CERMA.

- Para contabilizar el efecto de posibles sombras del propio edificio el programa distingue entre área en 1º plano de fachada (sin sombra) y la totalidad del área. Ver figura siguiente:

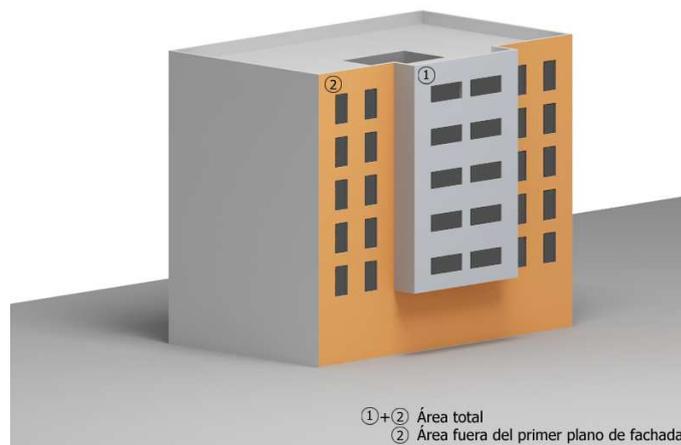


Figura 4.7: Esquema de posibles sombras del propio edificio. Fuente: Programa CERMA.

En este caso se considera que en verano no existe sombra del propio edificio, es decir, todo el cerramiento se encuentra expuesto al sol (existiendo sólo la posibilidad de recibir sombra por otros edificios). En invierno se considera que toda el área, fuera del 1º plano de fachada está a la sombra. (Esto hace una mayoración de las demandas de calefacción y refrigeración respectivamente).

Verano

$$A_{sombra} = Por_{sombra} A_{total}$$

Invierno

$$A_{sombra} = Por_{sombra} (A_{total} - A_{fuera1ºplano}) + A_{fuera1ºplano}$$

Por tanto el cálculo de la ganancia de los cerramientos en cualquier orientación, contabilizando el área al sol y a la sombra, se realiza a partir de:

$$G_{intro\ real\ cerr, Orient}(n) = (A_{cerr, Orient} - A_{sombra}) U_{cerr, real} \cdot G_{intro\ cerr, Orient}(n) + A_{sombra} U_{cerr, real} \cdot G_{intro\ cerr, Norte}(n) \quad (4.22)$$

De forma global las ganancias totales del muro al exterior se pueden expresar en un término que depende de la temperatura interior en ese instante ($T_{sx}(n)$) (desconocida antes de realizar el balance), y otro que depende del instante considerado y de la temperatura equivalente interior en instantes anteriores (valores conocidos), así:

$$G_{intro, cerr, Ori}(n) = G_1(n) + G_2(n) \quad (4.23)$$

donde:

$$\begin{aligned} G_1(n) &= A_{cerr, Orient} Z_N^*(0) T_{sx}(n) \\ G_2(n) &= (A_{cerr, Orient} - A_{sombra}) U_{cerr, real} G_{intro\ real\ cerr, Orient}(n) + \\ &+ A_{sombra} U_{cerr, real} G_{intro\ real\ cerr, Norte}(n) + \\ &+ A_{cerr, Orient} U_{cerr, real} 22,5 + A_{cerr, Orient} \sum_{j=1}^{23} Z_N^*(j) T_{sx}(n-j) \end{aligned}$$

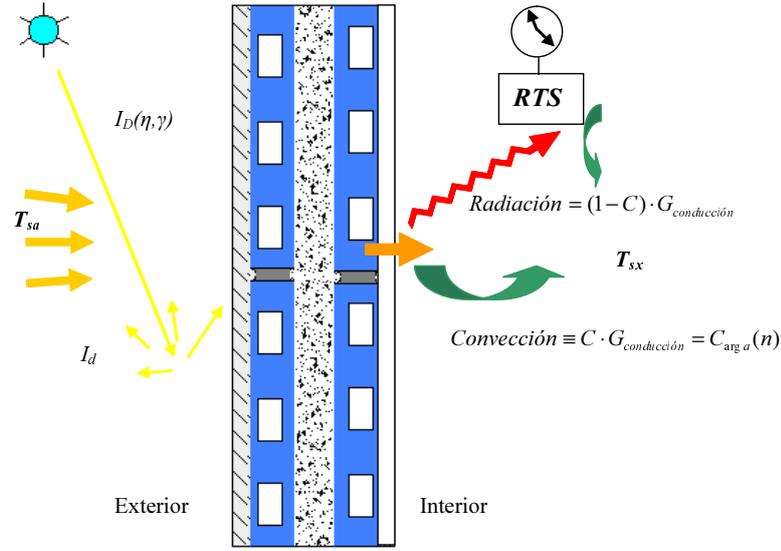


Figura 4.8: Ganancia por conducción en cerramiento opaco.

En la gráfica anterior, se ve un esquema de lo que sucede con las ganancias por conducción en un cerramiento de la zona térmica. Las ganancias se dividen en una parte convectiva que se transformará directamente en carga, para el equipo de climatización y por otra parte, la ganancia radiante a la cual se aplica la metodología *RTS*, para determinar cuál es el valor que se convierte en carga en ese instante e instantes posteriores.

Aplicando *RTS* (radiant time series):

$$C_{arga,cerr,ori}(n) = [C + (1 - C) \cdot RTS(0)] \cdot G_{total,cerr,Ori}(n) + \sum_{j=1}^{23} (1 - C) G_{total,cerr,Ori}(n - j) RTS(j) \quad (4.24)$$

$$C_{arga,cerr,ori}(n) = [C + (1 - C) \cdot RTS(0)] \cdot G_2(n) + \sum_{j=1}^{23} (1 - C) G_2(n - j) RTS(j) + [C + (1 - C) \cdot RTS(0)] \cdot G_1(n) + \sum_{j=1}^{23} (1 - C) G_1(n - j) RTS(j) \quad (4.25)$$

que también se puede expresar como:

$$C_{arga,cerr,ori}(n) = C_{arga2_cerr}(n) + VC \cdot A_{cerr,Orient} Z_N^*(0) T_{sx}(n) + C_{arga1_cerr}(n)$$

$$C_{arga2_cerr}(n) = [C + (1 - C) \cdot RTS(0)] \cdot G_2(n) + \sum_{j=1}^{23} (1 - C) G_2(n - j) RTS(j)$$

$$Carga_{1-cerr}(n) = \sum_{j=1}^{23} (1 - C) \cdot A_{cerr, Orient} Z_N^*(0) T_{sx}(n - j) RTS(j)$$

$$VC = [C + (1 - C) \cdot RTS(0)]$$

El porcentaje C de convección es la relación $C = hc/hcr$, que en primera instancia para transmisión de calor por conducción de paredes se fija en 0.54, valor recomendado en “ Load Calculation Applications Manual” ver ref. [42]

Los coeficientes RTS varían con el % de superficie acristalada (suponemos un 10 % de superficie acristalada), muro de peso medio, sin alfombra. Los coeficientes de la metodología RTS se muestran en la tabla (2.5). No obstante se podrían interpolar con otros porcentajes de superficie acristalada (con el fin de mejorar el método).

4.2.1.2. Muro a otro local no acondicionado

La característica y descripción constructiva de los muros a otro local no acondicionado normalizado, es similar al de los muros exteriores normalizado figura (4.3), sin embargo, el cálculo se aplica una reducción de la ganancia en función del nivel de estanqueidad y las características del local no acondicionado.

Por ser una propuesta abreviada, no se tiene información en que orientación se encuentra el local no acondicionado. Por tanto, la ganancia de calor del local no acondicionado, se asume la media de las cuatro orientaciones.

$$G_{cerr\ real, no\ acond}(n) = b_{muro} \frac{G_{N_cerr, Norte}(n) + G_{N_cerr, Este}(n) + G_{N_cerr, Sur}(n) + G_{N_cerr, Oeste}(n)}{4} \quad (4.26)$$

donde:

$$b_{muro} = CalculoParametro b(U Ai, U Ae, estanqueidad)$$

b_{muro} coeficiente de reducción de ganancia (relacionado al espacio no habitable).

Existen dos formas de determinar el valor b :

- Primer caso, en función del cociente de las áreas de la partición interior y exterior, más los datos del aislamiento que posee el cerramiento (aislado o no aislado) y la estanqueidad del recinto. A partir de los datos mencionados se determina el valor de b en la tabla E.7 de la HE1 del Código Técnico de la Edificación. Para complementar se adjunta la tabla.

Tabla 4.1: Tabla E.7 de la HE1.

A_{iU}/A_{eU}	No aislado _{ue} -Aislado _{iu}		No aislado _{ue} -No aislado _{iu}		Aislado _{ue} -No aislado _{iu}	
	CASO 1	CASO 2	CASO 1	CASO 2	CASO 1	CASO 2
<0.25	0,99	1,00	0,94	0,97	0,91	0,96
0.25 ≤0.50	0,97	0,99	0,85	0,92	0,77	0,90
0.50 ≤0.75	0,96	0,98	0,77	0,87	0,67	0,84
0.75 ≤1.00	0,94	0,97	0,70	0,83	0,59	0,79
1.00 ≤1.25	0,92	0,96	0,65	0,79	0,53	0,74
1.25 ≤2.00	0,89	0,95	0,56	0,73	0,44	0,67
2.00 ≤2.50	0,86	0,93	0,48	0,66	0,36	0,59
2.50 ≤3.00	0,83	0,91	0,43	0,61	0,32	0,54
>3.00	0,81	0,90	0,39	0,57	0,28	0,50

- Segundo caso. Aplicar estrictamente la norma UNE 13789:2001 ref. [7] en el cual también interviene los coeficientes globales de transferencia de calor de las paredes, además de las variables anteriores. En este trabajo se determina a partir de este método.

En lenguaje de programación la determinación de b_{muro} es:

```

float b,b1,b2,na1,na2;
b=0
if (UAi+UAe>0)
{
b1=1.25*UAe/(UAi+UAe);
if (b1>1) b1=1;
if (b1<0.28) b1=0.28
b2=1.1*(UAe+1.5*UAe)/(UAi+UAe+1.5*UAe);
if (b2>1) b2=1;
if (b2<0.5) b2=0.5;
if (estanqueidad==0) {na1=1; na2=0;}
if (estanqueidad==1) {na1=0.85;na2=0.15;}
if (estanqueidad==2) {na1=0.7;na2=0.3;}
if (estanqueidad==3) {na1=0.3;na2=0.7;}
if (estanqueidad==4) {na1=0;na2=1;}
b=na1*b1+na2*b2;
if (b>1) b=1;
if (b<0.28) b=0.28;
}
return b;

```

Finalmente, se aplica *RTS* a la ganancia por el muro a local no acondicionado

para obtener la carga, expresada mediante la siguiente ecuación:

$$Carga_{local_noacond}(n) = [C + (1 - C) \cdot RTS(0)] \cdot G_{cerr\ real, noacond}(n) + \sum_{j=0}^{23} (1 - C) \cdot G_{cerr\ real, noacond}(n - j) \cdot RTS(j) \quad (4.27)$$

de forma análoga a lo anterior se puede expresar en función de la temperatura en ese instante y otra en función del instante considerado y de la temperatura equivalente interior en instantes anteriores.

4.2.1.3. Muro al terreno

La ganancia desde un muro al terreno se calcula según la Norma UNE-EN ISO 13370 ref. [6]. La cual se basa en la existencia de dos contribuciones, una parte estacionaria y otra transitoria.

- Aporte de la ganancia estacionaria:

$$G_{cerr,real,est,terreno}(n) = - \left[Ls (T_{si,media,anual} - T_{se,media,anual}) - Lpi \cdot \Delta T_{si,anual} \cos \left(2\pi \frac{mes-1}{12} \right) + Lpe \Delta T_{se,anual} \cos \left(2\pi \frac{mes-2}{12} \right) \right]$$

donde:

Ls coeficiente de acoplamiento térmico en régimen estacionario.

Lpi coeficiente de acoplamiento térmico periódico interior.

Lpe coeficiente de acoplamiento térmico periódico exterior.

Los valores asumidos como temperatura media interior para invierno es de 19°C y en verano de 25°C, por lo que tenemos una media anual y una oscilación de:

$$\begin{aligned} T_{si,media,anual} &= 22^{\circ}C \\ \Delta T_{si,anual} &= 3^{\circ}C \end{aligned}$$

Los valores de la $T_{se,media,anual}$ y $\Delta T_{se,anual}$ son función de la localidad.
En lenguaje de programación para: Ls

4.2. CÁLCULO DE LA DEMANDA DE CALEFACCIÓN Y REFRIGERACIÓN 51

```

float LsMuro=0; float landa=2,dencp=2000000;
float delta=3.15*pow(10,7)*landa/(3.1416*dencp);
delta=pow(delta,0.5);
if (UMuro!=0 && Amuro!=0)
{
float RfMuro,dw,UFinalMuro;
RfMuro=1/(UMuro)-0.1;
if (RfMuro<0) RfMuro=0;
dw=0+(0.17+RfMuro+0.04)*landa;
if (ProfundidadMuro==0) ProfundidadMuro=1;
UFinalMuro=(2*landa/(3.1416*ProfundidadMuro))*(1+(0.5*dw)/
(dw+ProfundidadMuro))*log(1+ProfundidadMuro/dw);
LsMuro=UFinalMuro*Amuro*(1-Muro);
}
return LsMuro;

```

En lenguaje de programación para: *Lpi*

```

float LpiMuro=0;
float landa=2,dencp=2000000;
float delta=3.15*pow(10,7)*landa/(3.1416*dencp);
delta=pow(delta,0.5);
if (UMuro!=0 && Amuro!=0)
{
float RfMuro,dw;
RfMuro=1/(UMuro)-0.1;
if (RfMuro<0) RfMuro=0;
dw=0+(0.17+RfMuro+0.04)*landa;
LpiMuro=Amuro*(1-Muro)*(landa/dw)*pow(2/(1+(1+delta/dw)*(1+delta/dw)),0.5);
}
return LpiMuro;

```

En lenguaje de programación para: *Lpe*

```

float LpeMuro=0;
float landa=2,dencp=2000000;
float delta=3.15*pow(10,7)*landa/(3.1416*dencp);
delta=pow(delta,0.5);
if (UMuro!=0 && Amuro!=0)
{
float RfMuro,dw;
RfMuro=1/(UMuro)-0.1;
if (RfMuro<0) RfMuro=0;
dw=0+(0.17+RfMuro+0.04)*landa;
if (ProfundidadMuro==0) ProfundidadMuro=1;

```

```

LpeMuro=0.37*(Amuro*(1-Muro)/ProfundidadMuro)*landa*log(delta/dw+1)*2
*(1-exp(-ProfundidadMuro/delta));
}
return LpeMuro;

```

- Aporte de la ganancia transitoria:

Se considera pared + 30cm de tierra y en el límite superficie adiabática. Se consigue determinar mediante la técnica del espejo térmico a partir de sus elementos constructivos; en el interior y exterior la oscilación de temperatura es la misma. Como concepción se duplica el muro y se considera la suma $Z_N + Y_N$ con la evolución de la temperatura interior (el coeficiente Y_N se amortigua completamente, por lo tanto se toma constante para cualquier hora e igual al coeficiente global dividido por 24). La composición del muro al terreno normalizado se encuentra en figura (4.9).

No se toma mayor longitud de tierra porque sí nos remitimos a la gráfica (4.10), los valores de la suma de los factores de respuesta $Z_N + Y_N$ a partir de la hora 5 es contante (se da el caso que la solución matemática ya no converge en la determinación de los factores de respuesta, al incremento de 10cm más de tierra).

El coeficiente de convección interior según el Código Técnico de la Edificación HE1 es igual a:

$$h_{cri} = 7.69 \frac{W}{m^2K}$$

Los factores de respuesta del muro exterior normalizado Y_N , X_N , Z_N , que se utilizan en el cálculo se ven en la gráfica (4.10).

La suma de las ganancias tanto estacionaria como transitoria es igual a:

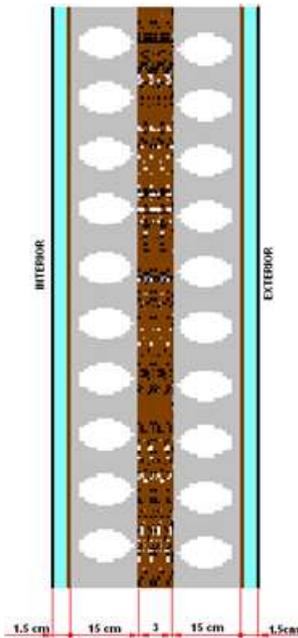
$$G_{cerr.real.Terreno}(n) = G_{cerr,real,est,terreno}(n) + A_{Muro Enterr} \cdot \left[\sum_{j=0}^{\infty} Z_N^*(j) \cdot T_{sx}(n-j) + \sum_{j=0}^{\infty} Y_N^*(j) \cdot T_{sx}(n-j) \right] \quad (4.28)$$

Se supone que cada 24h se repite la temperatura interior (esta aproximación se hace para no extender el sumatorio a más de 24 valores).

Finalmente la ganancia total del muro en contacto con el terreno se puede expresar como un término que depende de la temperatura equivalente en ese instante y otra que depende del instante considerado y de la temperatura equivalente interior en instantes anteriores.

$$G_{total.Terreno}(n) = G_{1-M.terreno}(n) + G_{2-M.terreno}(n) \quad (4.29)$$

donde:



	Espesor <i>m</i>	Conductividad <i>W/mK</i>	Densidad <i>kg/m³</i>	Calor específico <i>J/kgK</i>
Exterior				
Enlucido yeso	0.015	0.57	1150	1000
Bloque hueco	0.15	0.789	1040	1000
Tierra caliza	0.3	1.1	1500	1000
Bloque hueco	0.15	0.789	1040	1000
Enlucido yeso	0.015	0.57	1150	1000
Interior				

Figura 4.9: Características, composición y dimensiones del muro al terreno normalizado.

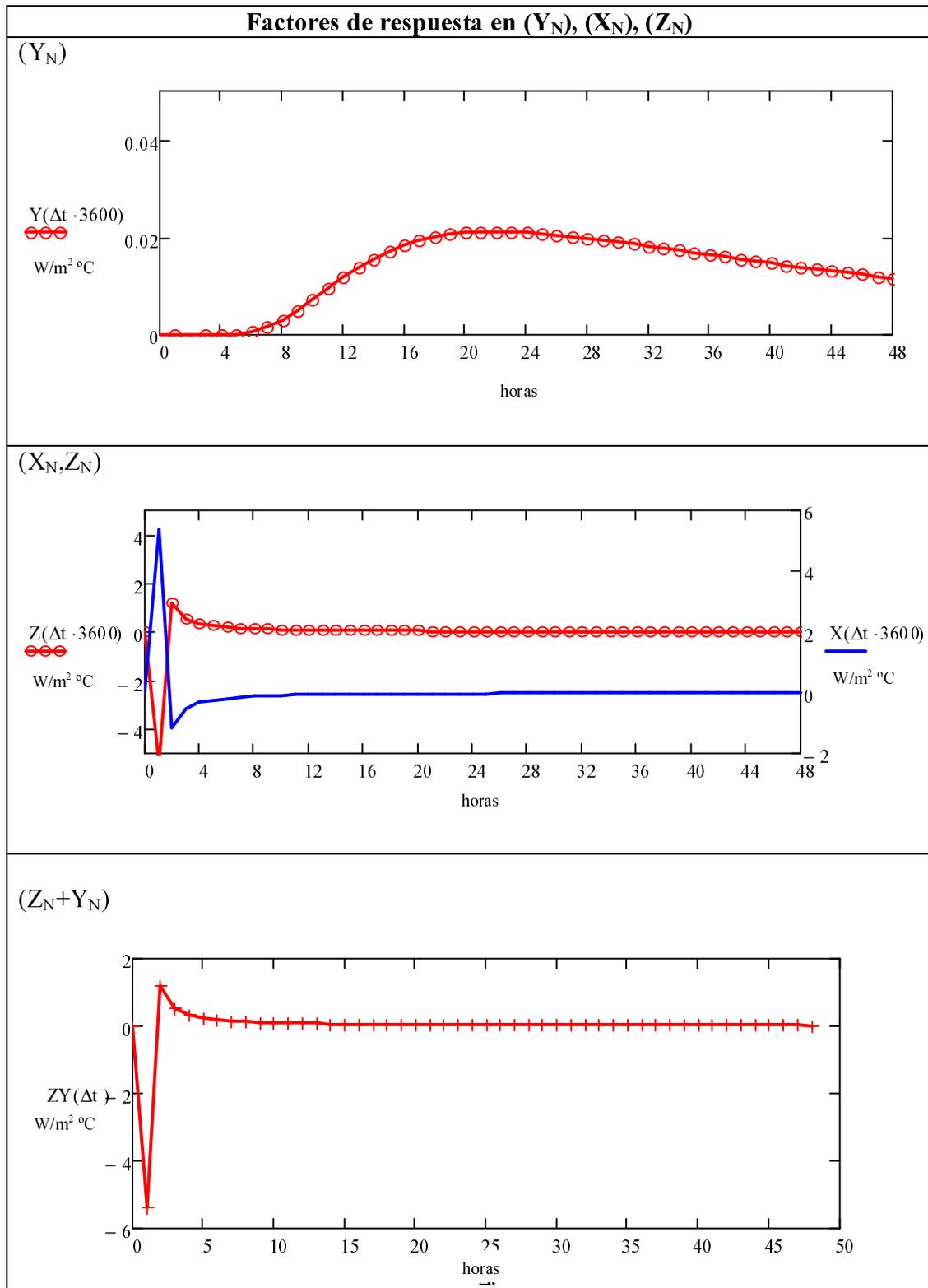


Figura 4.10: Factores de respuesta Y_N, X_N, Z_N del muro al terreno normalizado.

$$\begin{aligned}
 G_{1_M,terreno}(n) &= A_{Muro\ Enterr} (Z_N^*(0) + Y_N^*(0)) T_{sx}(n) \\
 G_{2_M,terreno}(n) &= A_{Muro\ Enterr} \cdot \left[\sum_{j=1}^{23} Z_N^*(j) + Y_N^*(j) \cdot T_{sx}(n-j) \right] + \\
 &\quad + G_{cerr,real,est,terreno}(n)
 \end{aligned}$$

Para convertir las ganancias en carga se aplica los valores de RTS , es igual a:

$$\begin{aligned}
 C_{arga,Terreno}(n) &= [C + (1 - C) \cdot RTS(0)] \cdot G_{1_M,terreno}(n) + \sum_{j=1}^{23} (1 - C) \cdot G_{1_M,terreno}(n-j) RTS(j) + \\
 &\quad + [C + (1 - C) \cdot RTS(0)] \cdot G_{2_M,terreno}(n) + \sum_{j=1}^{23} (1 - C) \cdot G_{2_M,terreno}(n-j) RTS(j)
 \end{aligned} \tag{4.30}$$

que también se puede expresar como:

$$\begin{aligned}
 C_{arga,Terreno}(n) &= C_{arga2_terreno}(n) + VC \cdot A_{Muro\ Enterr} (Z_N^*(0) + Y_N^*(0)) \cdot T_{sx}(n) \\
 &\quad + C_{arga1_terreno}(n) \\
 C_{arga2_terreno}(n) &= [C + (1 - C) \cdot RTS(0)] \cdot G_{2_M,terreno}(n) + \\
 &\quad \sum_{j=1}^{23} (1 - C) \cdot G_{2_M,terreno}(n-j) RTS(j) \\
 C_{arga1_terreno}(n) &= \sum_{j=1}^{23} (1 - C) \cdot A_{Muro\ Enterr} (Z_N^*(0) + Y_N^*(0)) T_{sx}(n-j) \cdot RTS(j) \\
 VC &= [C + (1 - C) \cdot RTS(0)]
 \end{aligned}$$

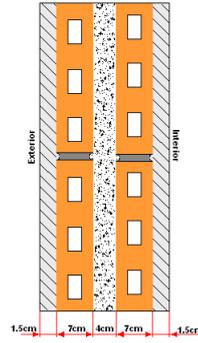
4.2.1.4. Muro adiabático

Los cerramientos adiabáticos se supone que no transmiten calor por la superficie exterior del muro, no obstante si influye en el posible almacenamiento de calor, por tanto debe considerarse su inercia. Una forma de poder contabilizar, es suponer el espejo térmico de dicho muro y a ambas superficies (exterior e interior) se considera la temperatura equivalente interior. El muro normalizado es del tipo medianera, su composición y características constructivas se ve reflejada en la gráfica (4.11).

Por la consideración del muro adiabático como un espejo térmico el coeficiente de convección interior es igual al exterior y según el Código Técnico de la Edificación HE1 es igual a:

$$h_{cre} = h_{cri} = 7.69 \frac{W}{m^2K}$$

Los factores de respuesta del muro adiabático normalizado, que se utilizan en el cálculo se muestran en la gráfica (4.12).



	Espesor <i>m</i>	Conductividad <i>W/mK</i>	Densidad <i>kg/m³</i>	Calor específico <i>J/kgK</i>
Exterior				
Enlucido yeso	0.015	0.57	1100	1000
Tabicón de ladrillo hueco	0.07	0.44	930	1000
Aislante	0.04	0.04	30	1000
Tabicón de ladrillo hueco	0.07	0.44	930	1000
Enlucido yeso	0.015	0.57	1100	1000
Interior				

Figura 4.11: Características, composición y dimensiones del muro adiabático normalizado (considerando el espejo térmico).

por tanto podemos estimar la ganancia como:

$$G_{cerr.real.Adiabatico}(n) = A_{Muro.adiab} \left[\sum_{j=0}^{\infty} Z_N^*(j) T_{sx}(n-j) + \sum_{j=0}^{\infty} Y_N^*(j) T_{sx}(n-j) \right]$$

Como en los casos anteriores la ganancia se puede expresar como un término que depende de la temperatura equivalente en ese instante y otra que depende del instante y de la temperatura equivalente interior en instantes anteriores.

$$G_{total.Muro.adiab}(n) = G_{1_Muro.adiab}(n) + G_{2_Muro.adiab}(n) \quad (4.31)$$

$$G_{1_Muro.adiab}(n) = A_{Muro.adiab} (Z_N^*(0) + Y_N^*(0)) \cdot T_{sx}(n)$$

$$G_{2_Muro.adiab}(n) = A_{Muro.adiab} \left[\sum_{j=1}^{23} Z_N^*(j) + Y_N^*(j) T_{sx}(n-j) \right]$$

Para convertir la ganancia en carga, se aplica los valores del método *RTS* y se la expresa mediante la siguiente expresión:

$$C_{carga,Muro.adiab}(n) = C_{carga2_adiab}(n) + VC \cdot A_{Muro.adiab} (Z_N^*(0) + Y_N^*(0)) \cdot T_{sx}(n) + C_{carga1_adiab}(n) \quad (4.32)$$

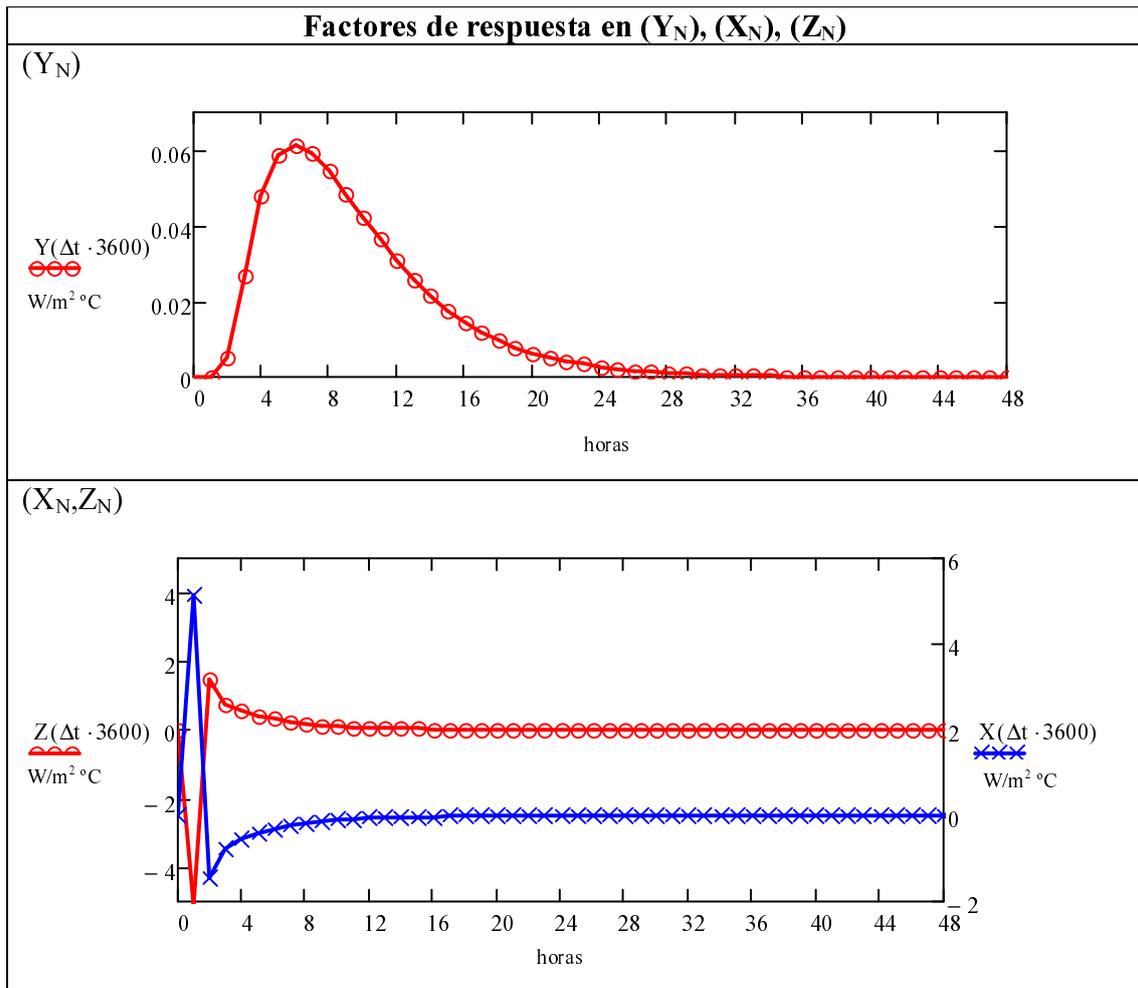
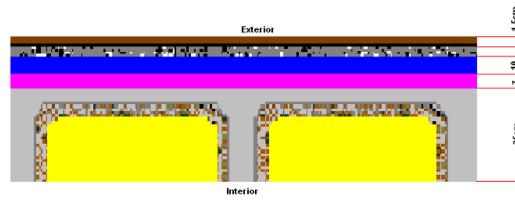


Figura 4.12: Factores de respuesta Y_N , X_N , Z_N del muro adiabático normalizado.



	Espesor <i>m</i>	Conductividad <i>W/mK</i>	Densidad <i>kg/m³</i>	Calor específico <i>J/kgK</i>
Exterior				
Plaqueta o baldosa cerámica	0.015	1	2000	800
Mortero de cemento	0.015	1.3	1900	1000
Aislante	0.1	0.041	30	1000
Hormigón con áridos ligeros	0.07	1.15	1600	1000
Forjado cerámico	0.25	1.67	1660	1000
Interior				

Figura 4.13: Características composición y dimensiones del techo exterior normalizado.

$$\begin{aligned}
 C_{\text{carga2_adiab}}(n) &= [C + (1 - C) \cdot RTS(0)] \cdot G_{2_Muro.adiab}(n) + \\
 &\quad \sum_{j=1}^{23} (1 - C) \cdot G_{2_Muro.adiab}(n - j) RTS(j) \\
 C_{\text{carga1_adiab}}(n) &= \sum_{j=1}^{23} (1 - C) \cdot A_{Muro.adiab} (Z_N^*(0) + Y_N^*(0)) T_{sx}(n - j) \cdot RTS(j) \\
 VC &= [C + (1 - C) \cdot RTS(0)]
 \end{aligned}$$

4.2.1.5. Caso de los techos. Techo exterior

La composición del techo al exterior normalizado se muestra en la gráfica (4.13).

Los coeficientes de convección exterior e interior según el Código Técnico de la Edificación HE1, son igual a:

$$h_{cre} = 25 \frac{W}{m^2K} \quad y \quad h_{cri} = 10 \frac{W}{m^2K}$$

Los factores de respuesta del techo exterior normalizado Y_N , X_N , Z_N que se utilizan en el cálculo se ven en gráfica (4.14).

Para el caso de los techos al exterior la temperatura sol aire se define de forma similar que el caso del muro al exterior, con la única diferencia que el techo ve por completo el cielo. Se la expresa de la siguiente manera:

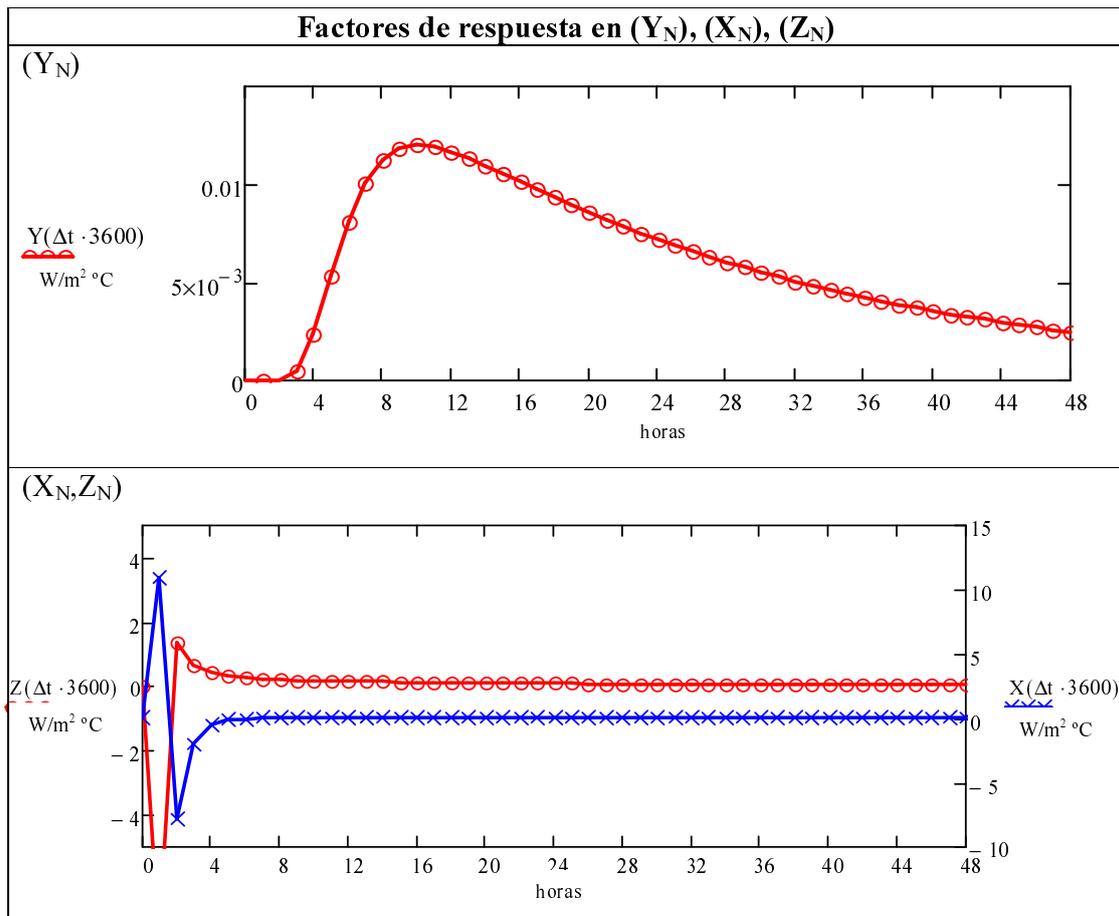


Figura 4.14: Factores de respuesta Y_N, X_N, Z_N del techo exterior normalizado.

$$T_{sa} = T_{se} + \frac{\alpha_{se} \cdot I_T - (T_{se} - T_c) \cdot hre}{hcre} \quad (4.33)$$

El cálculo se realiza de forma similar que si se tratase de un muro al exterior, con la salvedad que el área total expuesta al sol A_{total} y el área expuesta a la sombra A_{sombra} son datos, en el caso de estar en la sombra se determina descontando la radiación directa. Finalmente, las ganancias se expresa matemáticamente de forma similar a la ecuación (4.23).

Y por último, para convertir las ganancias en carga se usa la metodología *RTS*, de forma similar al caso de los muros al exterior, ver ecuación (4.25).

4.2.1.6. Techo a otro local no acondicionado

La característica y descripción constructiva de los techos a otro local no acondicionado normalizado es similar al techo exterior normalizado figura (4.13). Sin embargo, el cálculo se realiza considerando el nivel de estanqueidad y las características del local no acondicionado (como se hizo en muros).

$$G_{techo.real,no_acond}(n) = b_{techo} G_{cerr,teo,Horizontal}(n) \quad (4.34)$$

Por tanto, la ganancia total se ve afectado por el valor de la reducción de ganancia b_{techo} .

$$b_{techo} = calculoParametro b(UA_i, UA_e, estanqueidad)$$

El cálculo de b_{techo} se procede de la misma manera que si se tratara el caso de los muros a local no acondicionado.

Las cargas se determina de forma similar que el muro a otro local no acondicionado ver ecuación (4.27).

4.2.1.7. Techo adiabático

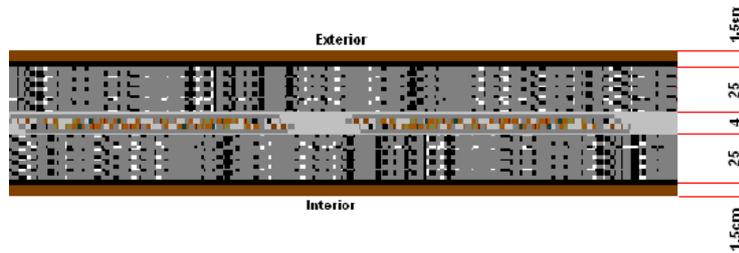
Al igual que el muro adiabático, el techo se comporta como un espejo térmico, para ello se considera uno y se “duplica”, y la suma de los coeficientes $Y_N + Z_N$ nos da la inercia del techo. Las características y descripción de los materiales del techo adiabático normalizado se muestra en la figura (4.15).

Los coeficientes de convección exterior e interior es este caso son iguales (por la consideración de espejo térmico). El valor según la HE1 es:

$$hcri = hcre = 10 \frac{W}{m^2K}$$

Los factores de respuesta del techo adiabático normalizado se ven en la gráfica (4.16).

Las ganancias y cargas se calcula de igual forma que el muro adiabático, es decir para determinar la ganancia se utiliza ecuación (4.31) y para el cálculo de la carga se determinan a partir de la ecuación (4.32).



	Espesor <i>m</i>	Conductividad <i>W/mK</i>	Densidad <i>kg/m³</i>	Calor específico <i>J/kgK</i>
Exterior				
Enlucido de yeso 1000<d	0.015	0.57	1150	1000
FU entrelazado hormigón	0.25	1.429	1240	1000
Plaqueta baldosa de gres	0.04	2.3	2500	1000
FU entrelazado hormigón	0.25	1.429	1240	1000
Enlucido yeso 1000<d	0.015	0.57	1150	1000
Interior				

Figura 4.15: Características, composición y dimensiones del techo adiabático referencia (considerando el espejo térmico).

4.2.1.8. Caso de suelos. Suelo exterior

La composición del suelo al exterior normalizado se ve en la figura (4.17).

Los coeficientes de convección exterior e interior definidos según el Código Técnico de la Edificación HE1 en el caso del suelo exterior son:

$$h_{cri} = 5.88 \frac{W}{m^2K} \quad y \quad h_{cre} = 25 \frac{W}{m^2K}$$

Los factores de respuesta Y_N , X_N , Z_N del suelo al exterior, utilizados en el cálculo se muestra en la figura (4.18).

La ecuación que define la temperatura sol aire en el caso del suelo al exterior, se considera que recibe un 8% de la incidencia de la radiación reflejada de los suelos a los cuales ve. El coeficiente de absorción corresponde a un color medio y es igual a 0.75. La definición matemática será igual a:

$$T_{sa} = T_{se} + \frac{0.08 \cdot \alpha_{se} \cdot I_T}{h_{cre}} \quad (4.35)$$

La ganancia del suelo al exterior es similar al muro al exterior. Una vez determinado las ganancias se aplica el método *RTS* de forma similar a los casos anteriores. La ecuación (4.25) conduce a determinar la carga.

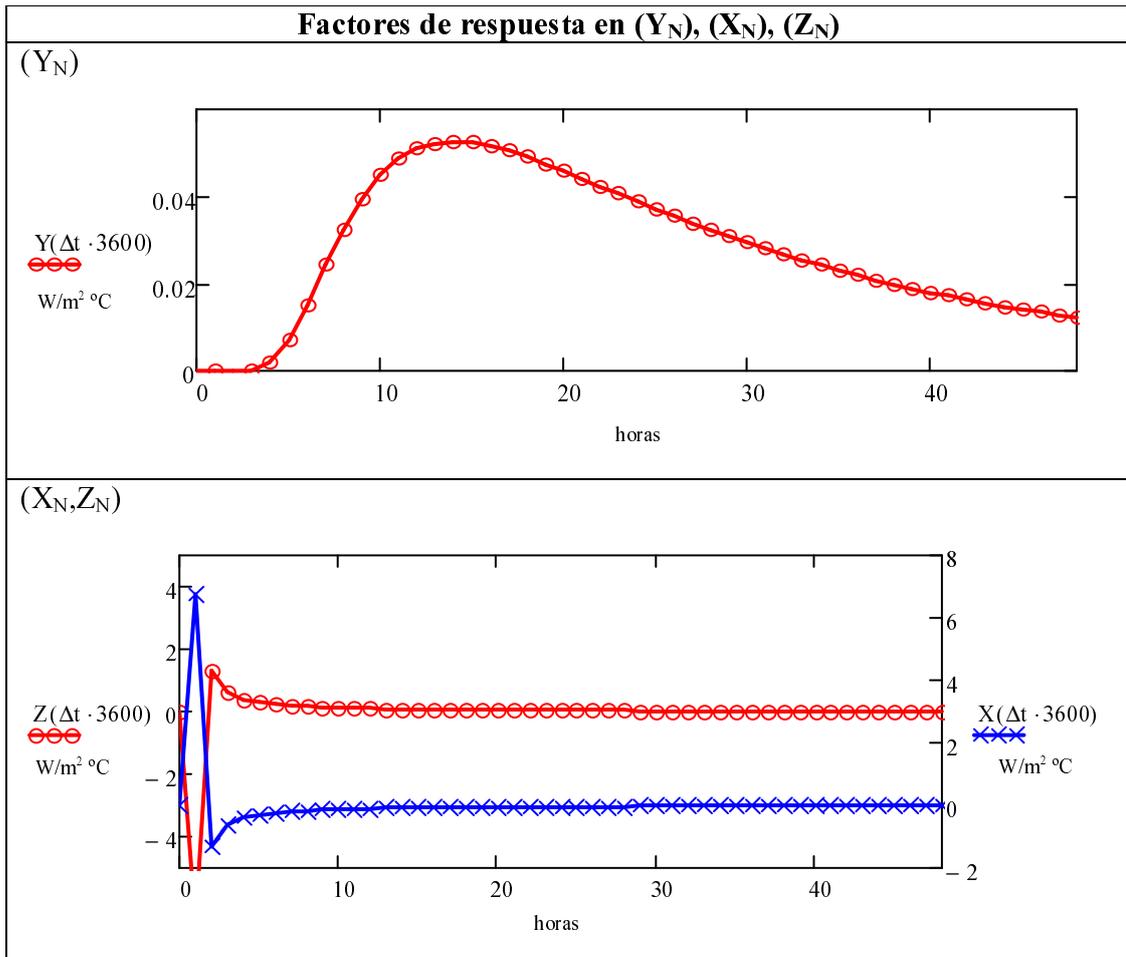
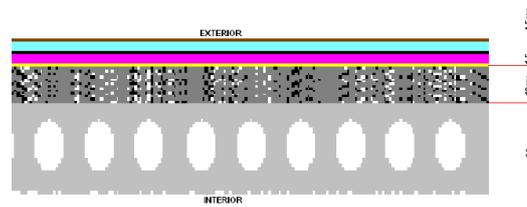


Figura 4.16: Factores de respuesta Y_N, X_N, Z_N del techo adiabático normalizado.



	Espesor m	Conductividad W/mK	Densidad kg/m^3	Calor específico J/kgK
Exterior				
Plaqueta o baldosa cerámica	0.015	1	2000	800
Mortero de cemento	0.015	1.3	1900	1000
Aislante	0.1	0.05	30	1000
Solera hormigón armado	0.2	2.5	2500	1000
Interior				

Figura 4.17: Características, composición y dimensiones del suelo exterior normalizado.

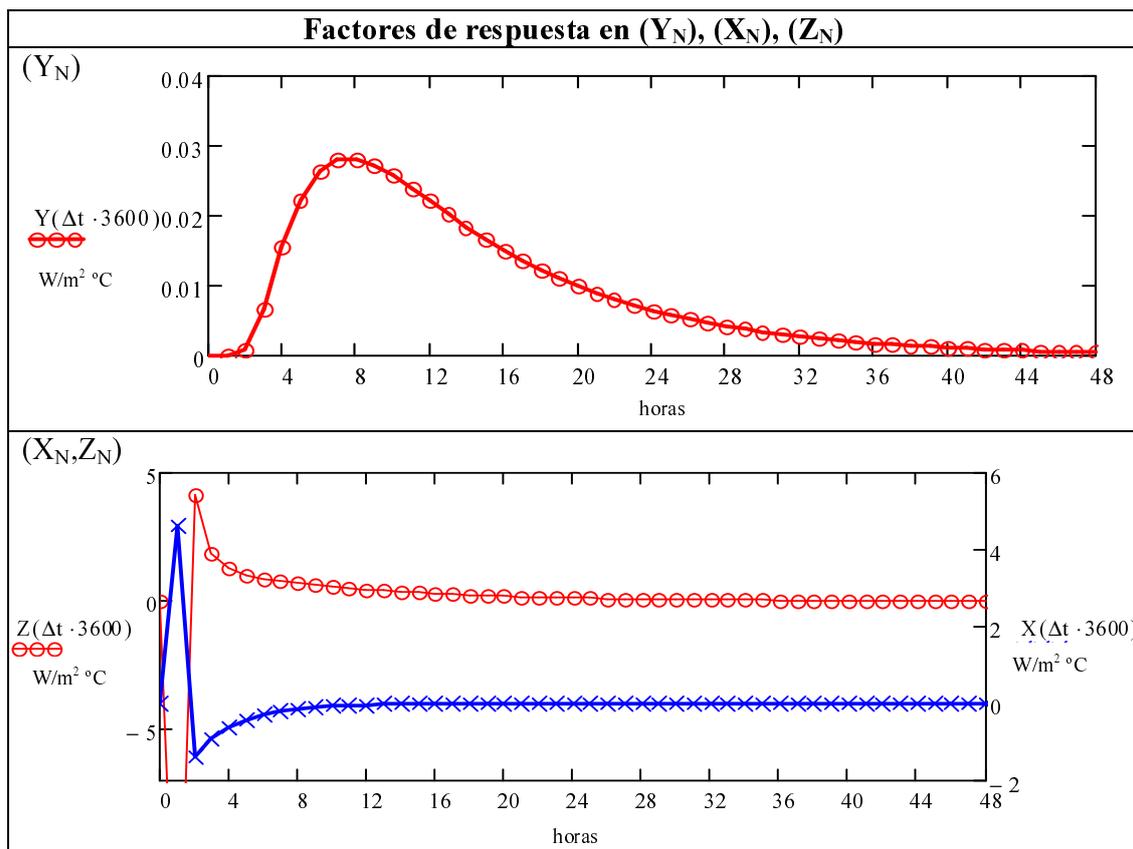


Figura 4.18: Factores de respuesta Y_N, X_N, Z_N del suelo exterior normalizado.

4.2.1.9. Suelo a otro local no acondicionado

La características y descripción constructiva del suelo a otro local no acondicionado, es similar al del suelo exterior normalizado figura (4.17), sin embargo el cálculo se realiza considerando el nivel de estanqueidad y las características del local no acondicionado.

$$G_{suelo,real,noacond}(n) = b_{suelo}G_{suelo,noacond}(n) \quad (4.36)$$

Por tanto la ganancia de calor se ve afectado por el valor de la reducción de ganancia b_{suelo} .

$$b_{suelo} = calculoParametro b(UA_i, UA_e, estanqueidad)$$

El cálculo de b_{suelo} se procede de la misma manera que sí se tratara el caso de los muros a local no acondicionado.

Para convertir la ganancia en carga se aplica la metodología *RTS*, y la expresión matemática es similar al muro a otro local, ver ecuación (4.27).

4.2.1.10. Suelo a vacío sanitario

El cálculo de locales a vacío sanitario, se puede realizar por dos métodos, a través de la normativa española, según el Código Técnico de la Edificación HE1, o a partir de la norma UNE-EN ISO 13370. En este caso se utiliza el primer método, ref. [6], puesto que se ajusta favorablemente al comparar el método propuesto con el programa oficial de certificación. Se determina a partir de:

$$G_{suelo,real,noacond} = b_{vacio\ sanitario}G_{suelo,teo\ Ext}(n) \quad (4.37)$$

Por tanto, la ganancia de calor es afectado por el valor de la reducción de ganancia $b_{vacio\ sanitario}=0.35$.

Al tratarse de un vacío sanitario se realiza las siguientes consideraciones para determinar el valor de $b_{vacio\ sanitario}$: la superficie del suelo respecto a la superficie exterior del vacío sanitario es muy grande ($A_{ui} > A_{ue}$), si nos remitimos a la tabla E7 de HE1 (se adjunta a continuación) estamos en el caso donde $A_{ui}/A_{ue} > 3$. El suelo que da al recinto no acondicionado por lo general no están aislados, tampoco la superficie que da al exterior del vacío sanitario. En la tabla nos encontramos en el caso de no aislado (caso 1) y $A_{ui}/A_{ue} > 3$ que se remarca en la figura.

Tabla 4.5: Tabla E7 de la HE1.

A_u/A_{ue}	No aislado _{ue} - Aislado _{ue}		No aislado _{ue} -No aislado _{ue}		Aislado _{ue} -No aislado _{ue}	
	CASO 1	CASO 2	CASO 1	CASO 2	CASO 1	CASO 2
<0.25	0,99	1,00	0,94	0,97	0,91	0,96
0.25 ≤0.50	0,97	0,99	0,85	0,92	0,77	0,90
0.50 ≤0.75	0,96	0,98	0,77	0,87	0,67	0,84
0.75 ≤1.00	0,94	0,97	0,70	0,83	0,59	0,79
1.00 ≤1.25	0,92	0,96	0,65	0,79	0,53	0,74
1.25 ≤2.00	0,89	0,95	0,56	0,73	0,44	0,67
2.00 ≤2.50	0,86	0,93	0,48	0,66	0,36	0,59
2.50 ≤3.00	0,83	0,91	0,43	0,61	0,32	0,54
>3.00	0,81	0,90	0,39	0,57	0,28	0,50

Por consiguiente, se define que el valor de la reducción de temperatura $b_{vacio\ sanitario}=0.35$ (cerca del valor más bajo de a otros local adyacente con para $A_{ui} > A_{ue}$).

La manera de obtener la carga es de forma similar al del muro a otro local no acondicionado, ecuación (4.27).

4.2.1.11. Suelo al terreno

Se determina en función de la Norma UNE-EN ISO 13370, ref. [6], considerando las ganancias en estacionario y en transitorio.

- Ganancia parte estacionaria.

$$G_{cerr.realTerreno}(n) = [Ls_{suelo} \cdot (22.5 - T_{e_{media.aunal}}) - Lp_{i_{suelo}} \cdot 2.5 \cdot \cos\left(2 \cdot \pi \cdot \frac{mes - 1}{12}\right) + Lp_{e_{suelo}} \cdot \Delta T_{e_{aunal}} \cdot \cos\left(2 \cdot \pi \cdot \frac{mes - 1}{12}\right)] \quad (4.38)$$

Cálculo de Ls

```
float LsSueloTerr=0;
float landa=2,dencp=2000000;
float delta=3.15*pow(10,7)*landa/(3.1416*dencp);
delta=pow(delta,0.5);
if (USuelo!=0 && ASuelo!=0)
{
float RfSueloTerr,dt,BP,D,Rp,dp,DeltaFI;
RfSueloTerr=1/(USuelo)-0.17;
if (RfSueloTerr<0) RfSueloTerr=0;dt=0.3+(0.17+RfSueloTerr+0.04)*landa;
if (perimetro==0) perimetro=4*pow(ASuelo,0.5);
BP=2*ASuelo/perimetro;
if (Profundidad<=0.5){
```

```

if (dt < BP)
LsSueloTerr=Asuelo*(2*landa/(3.1416*BP+dt))*log(3.1416*BP/dt+1);
else LsSueloTerr=Asuelo*landa/(0.457*BP+dt);
if (TipoAislamiento=="Periferico"){
D=AnchuraAisPerimetral;
if (D <= 0) D=0.1;
Rp=RTermAisPerimetral-0.1/landa;
if (Rp < 0) Rp=0;
dp=Rp*landa;
DeltaFI=-(landa/3.1416)*(log(2*D/dt+1)-log(2*D/(dt+dp)+1));
LsSueloTerr=LsSueloTerr+perimetro*DeltaFI;
}
}
else
{
if (dt+Profundidad/2 < BP)
LsSueloTerr=Asuelo*(2*landa/(3.1416*BP+dt+Profundidad/2))*
log(3.1416*BP/(dt+Profundidad/2)+1);
else LsSueloTerr=Asuelo*(landa/(0.457*BP+dt+Profundidad/2));
} }
return LsSueloTerr;

```

Para L_{pi}

```

float LpiSueloTerr=0;
float landa=2,dencp=2000000;
float delta=3.15*pow(10,7)*landa/(3.1416*dencp); delta=pow(delta,0.5);
if (USuelo!=0 && Asuelo!=0)
{
float RfSueloTerr,dt,BP,D ,Rp,dp;
RfSueloTerr=1/(USuelo)-0.17;
if (RfSueloTerr < 0) RfSueloTerr=0;
dt=0.3+(0.17+RfSueloTerr+0.04)*landa;
if (perimetro==0) perimetro=4*pow(Asuelo,0.5);
BP=2*Asuelo/perimetro;
if (Profundidad <= 0.5)
{
if (TipoAislamiento=="Continuo" || TipoAislamiento=="SinAislamiento")
{
LpiSueloTerr=Asuelo*(landa/dt)*pow(2/(1+(1+delta/dt)*(1+delta/dt)),0.5);
}
if (TipoAislamiento=="Periferico")
{
D=AnchuraAisPerimetral;
if (D <= 0) D=0.1;

```

4.2. CÁLCULO DE LA DEMANDA DE CALEFACCIÓN Y REFRIGERACIÓN 67

```

Rp=RTermAisPerimetral-0.1/landa;
if (Rp<0) Rp=0;
dp=Rp*landa;
LpiSueloTerr=Asuelo*(landa/dt)*pow(2/(1+(1+delta/dt)*(1+delta/dt)),0.5);
}
}
else
{
LpiSueloTerr=Asuelo*(landa/dt)*pow(2/(1+(1+delta/dt)*(1+delta/dt)),0.5);
return LpiSueloTerr;
}

```

Para *Lse*

```

float LpeSueloTerr=0;
float landa=2,dencp=2000000;
float delta=3.15*pow(10,7)*landa/(3.1416*dencp);
delta=pow(delta,0.5);
if (USuelo!=0 && Asuelo!=0){
float RfSueloTerr,dt,BP,D ,Rp,dp;
RfSueloTerr=1/(USuelo)-0.17;
if (RfSueloTerr<0) RfSueloTerr=0;
dt=0.3+(0.17+RfSueloTerr+0.04)*landa;
if (perimetro==0) perimetro=4*pow(Asuelo,0.5);
BP=2*Asuelo/perimetro;
if (Profundidad<=0.5)
{
if (TipoAislamiento=="Continuo" || TipoAislamiento=="SinAislamiento")
{
LpeSueloTerr=0.37*perimetro*landa*log(delta/dt+1);
}
if (TipoAislamiento=="Periferico")
}
D=AnchuraAisPerimetral;
if (D<=0) D=0.1;
Rp=RTermAisPerimetral-0.1/landa;
if (Rp<0) Rp=0;
dp=Rp*landa;
LpeSueloTerr=0.37*perimetro*landa*((1-exp(-2*D/delta))*
log(delta/(dt+dp)+1)+exp(-2*D/delta)*log(delta/dt+1)); }
} else
LpeSueloTerr=0.37*perimetro*landa*log(delta/dt+1)*exp(-Profundidad/delta);
}
} }
return LpeSueloTerr;
}

```

- Ganancia parte transitoria:

Consideración similar al caso de muro al terreno es decir, suelo + 30cm. de tierra y en el límite superficie adiabática. Como concepción se duplica el suelo y se considera la suma $Z + Y$ con igual evolución de la temperatura interior.

La composición de materiales del suelo al terreno normalizado se encuentra en figura (4.19).

El coeficiente de convección interior según el Código Técnico de la Edificación HE1 es:

$$h_{cri} = 5.88 \frac{W}{m^2K}$$

Los factores de respuesta del suelo al terreno normalizado Y_N , X_N , Z_N , utilizados en el cálculo se ven en la figura (4.20).

La determinación de las ganancias y cargas que aporta el suelo al terreno, se hace forma similar al muro al terreno.

4.2.1.12. Suelo adiabático

Al igual que en los casos anteriores, el suelo adiabático se considera como un espejo térmico (por tratarse de un elemento que no transfiere calor). La composición y descripción de un suelo adiabático normalizado se refleja en la figura (4.21).

Los coeficientes de convección exterior e interior es igual para este caso y se considera según el Código Técnico de la Edificación el valor de:

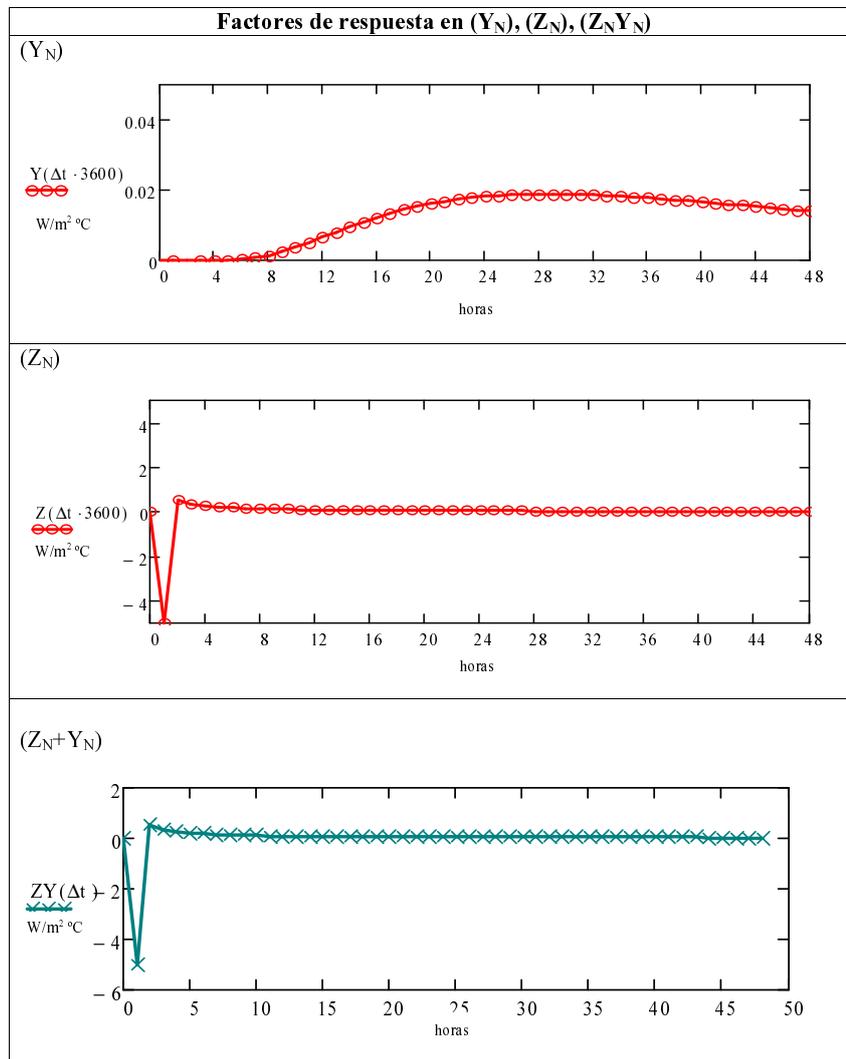
$$h_{cri} = h_{cre} = 7.7 \frac{W}{m^2K}$$

Los factores de respuesta del suelo adiabático normalizado Y_N , X_N , Z_N , se muestran en las gráficas (4.22).

Los suelos adiabáticos no transmiten calor por la superficie exterior de cerramiento, pero si almacenan calor y por tanto debe considerarse su inercia, puesto que en horas después esa energía almacenada se la entregará en forma convectiva al aire. Las ganancias y cargas son determinadas de igual manera que el caso de un muro adiabático, ver ecuaciones (4.31 y 4.32).

4.2.1.13. Cerramientos Interiores

La ganancia que se transfiere a los cerramientos internos o entre locales acondicionados se considera despreciable (por haber supuesto el mismo uso y control), y por tanto se considera simplemente la inercia térmica del cerramiento interior.



	Espesor <i>m</i>	Conductividad <i>W/mK</i>	Densidad <i>kg/m³</i>	Calor específico <i>J/kgK</i>
Exterior				
Plaqueta baldosa	0.02	1	2000	800
Hormigón masa	0.05	2	2450	1000
Tierra caliza	0.5	1.1	1500	1000
Hormigón masa	0.05	2	2450	1000
Plaqueta baldosa	0.02	1	2000	800
Interior				

Figura 4.19: Características, composición y dimensión del suelo al terreno normalizado.

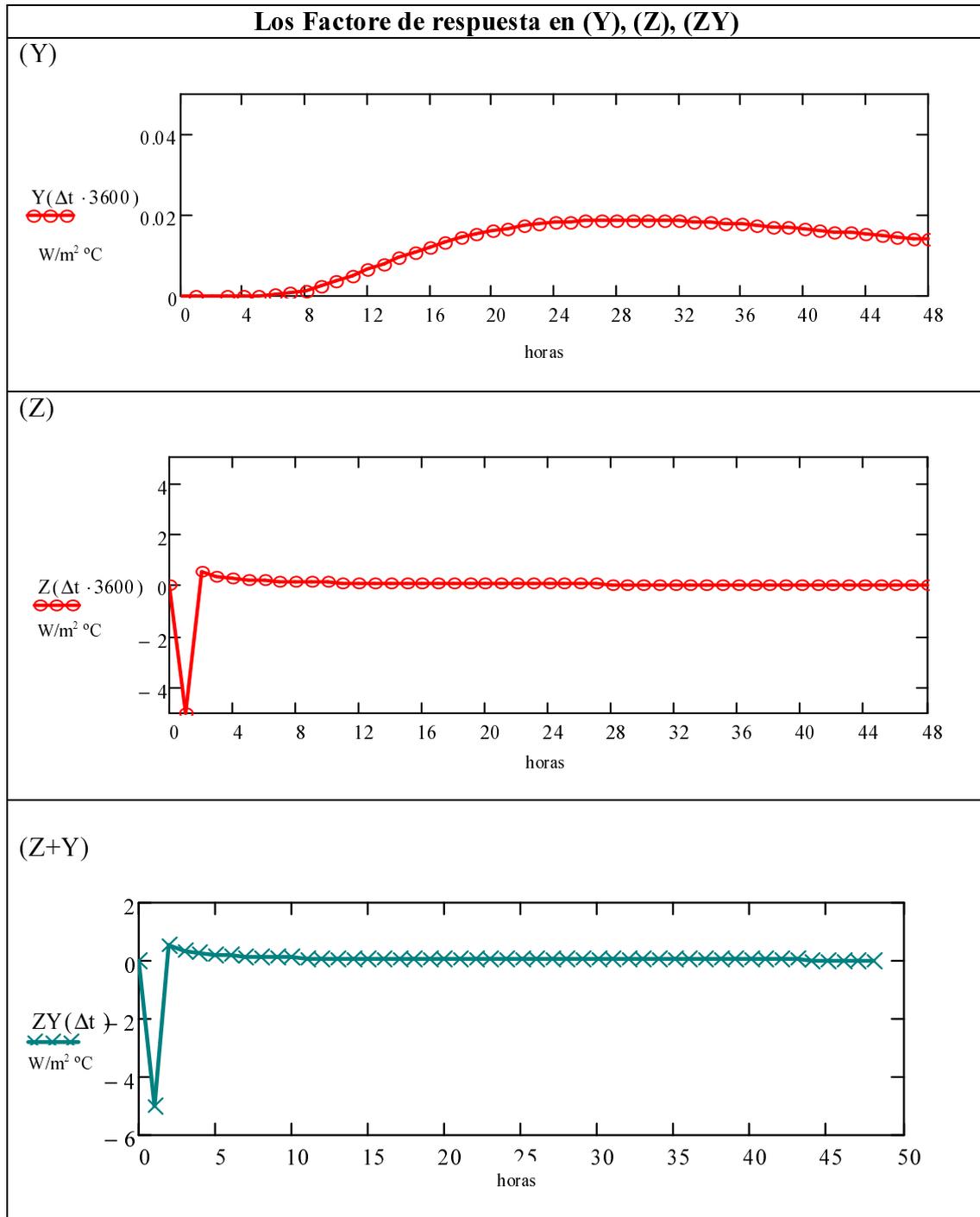
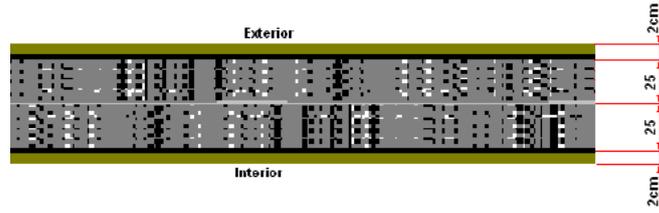


Figura 4.20: Factores de respuesta Y, X, Z del suelo al terreno normalizado.



	Espesor m	Conductividad W/mK	Densidad kg/m^3	Calor específico J/kgK
Exterior				
Plaqueta baldosa	0.02	1	2000	800
FU entrefigado hormigón	0.25	1.429	1240	1000
FU entrefigado hormigón	0.25	1.429	1240	1000
Plaqueta baldosa	0.02	1	2000	800
Interior				

Figura 4.21: Características, composición y dimensiones del suelo adiabático de referencia.

El calor transferido al recinto por ambas caras interiores se obtendrá utilizando factores de respuesta ver figura (4.24) mediante:

$$G_{cerr,interior}(n) = A_{cerr} \left\{ \left[\sum_{j=0}^{\infty} Y(j)T_{sx}(n-j) + \sum_{j=0}^{\infty} Z(j)T_{sx}(n-j) \right] + \left[\sum_{j=0}^{\infty} Y(j)T_{sx}(n-j) - \sum_{j=0}^{\infty} X(j)T_{sx}(n-j) \right] \right\}$$

La composición y características de los cerramientos interiores de referencia se encuentre en la tabla (4.24).

Los valores de los factores de respuesta X_N , Y_N , Z_N que se utiliza para el cálculo están representados en la gráfica (4.25).

Las ganancias se pueden expresar en un término que depende de la temperatura interior en ese instante ($T_{sx}(n)$) (desconocida antes de realizar el balance) y otro que depende de las temperaturas equivalentes interiores en instantes anteriores (valores conocidos). Se determinan a partir de la siguiente expresión:

$$G_{cerr,interior} = G_{1-m,interior}(n) + G_{2-m,interior}(n) \quad (4.39)$$

donde:

$$G_{1-m,interior}(n) = A_{cerr,unacara,int} [T_{sx}(n) \cdot (Z_N^*(0) + 2Y_N^*(0) - X_N^*(0))]$$

$$G_{2-m,interior}(n) = A_{cerr,unacara,int} \left[\sum_{j=1}^{23} T_{sx}(n-j) \cdot (Z_N^*(j) + 2Y_N^*(j) - X_N^*(j)) \right]$$

Para convertir las ganancias en carga se aplica la metodología *RTS*, la expresión es igual a:

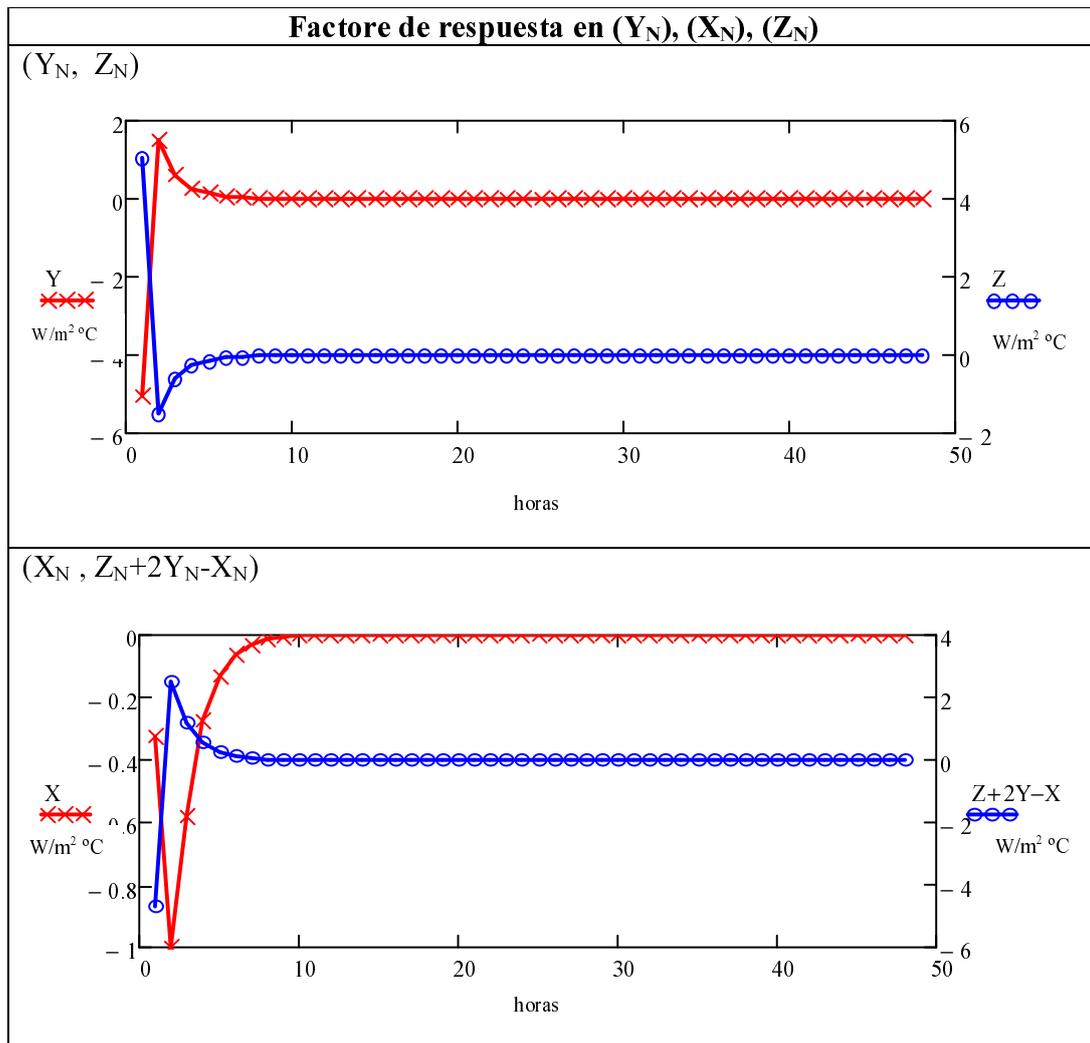


Figura 4.22: Factores de respuesta Y_N, X_N, Z_N del suelo adiabático normalizado.

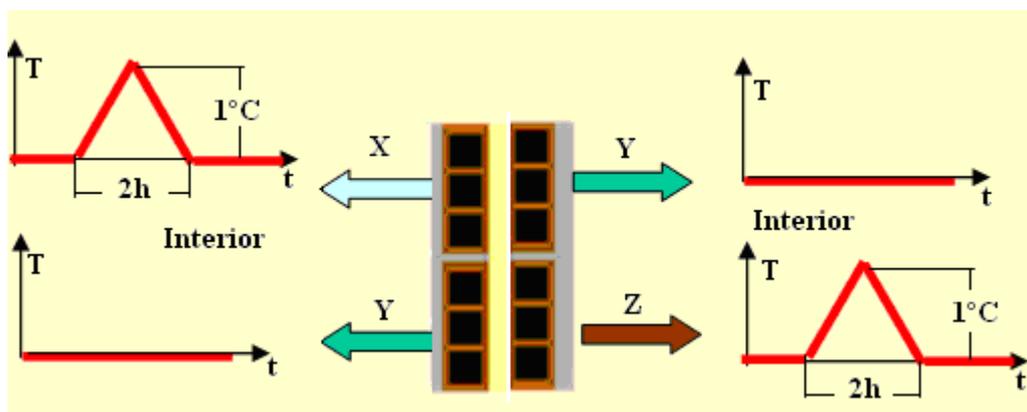


Figura 4.23: Factor de respuesta en el cerramiento interior.

	Espesor m	Conductividad W/mK	Densidad kg/m^3	Calor específico J/kgK
Exterior				
Plaqueta baldosa de gres	0.015	1	2000	800
Mortero de cemento	0.02	1.3	1900	1000
Forjado cerámico	0.25	1.67	1660	1000
Interior				

Figura 4.24: Composición y característica de los cerramientos interiores normalizados.

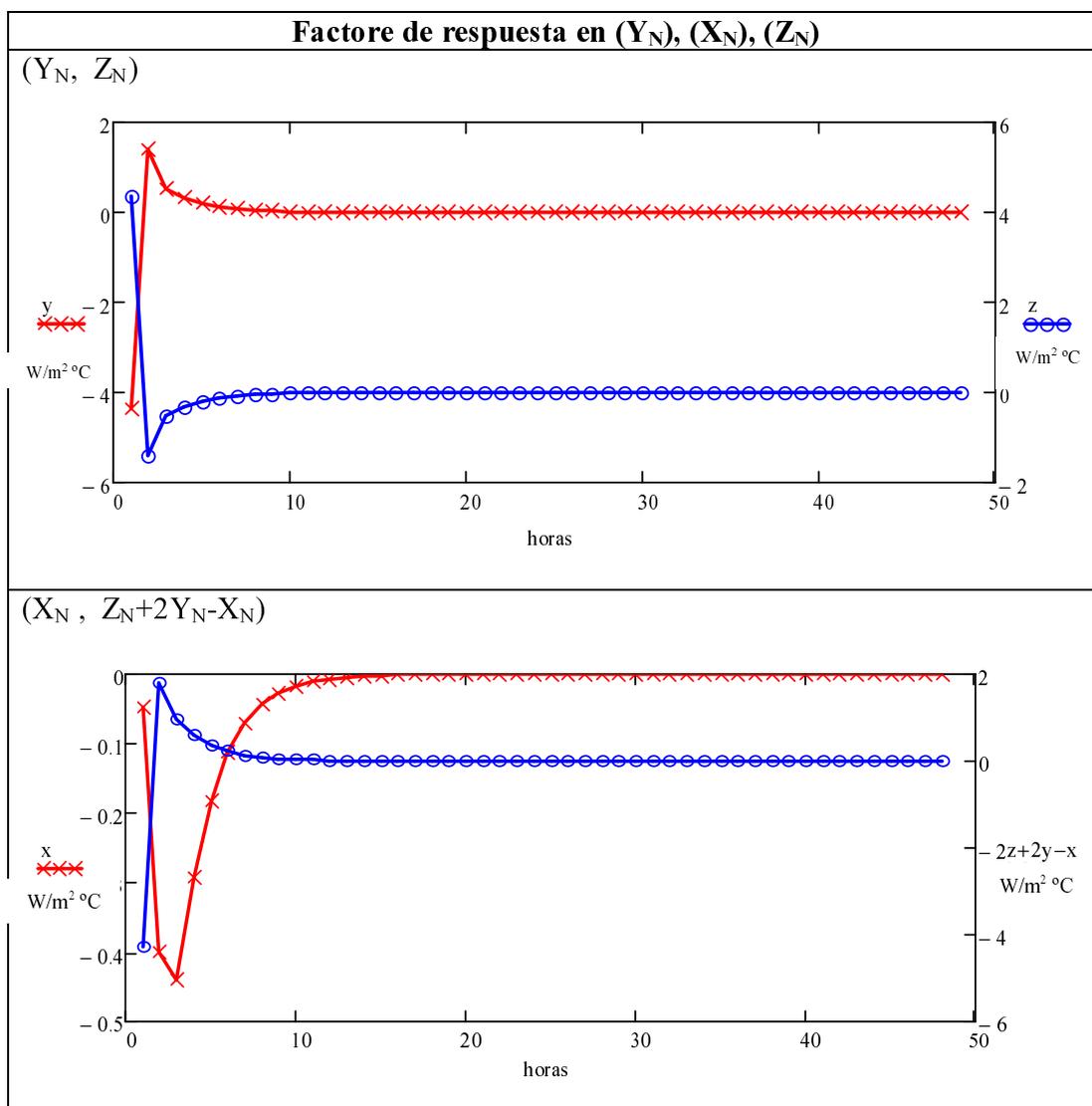


Figura 4.25: Factores de respuesta Y_N, X_N, Z_N de paredes interiores normalizado.

$$\begin{aligned}
 C_{\text{arga,Muro.interior}}(n) &= VC \cdot A_{\text{cerr,unacara,int}} [T_{sx}(n) \cdot (Z_N^*(0) + 2Y_N^*(0) - X_N^*(0))] \\
 &\quad + C_{\text{arga1-m,int}}(n) + C_{\text{arga2-m,int}}(n) + \tag{4.40} \\
 \\
 C_{\text{arga2-m,int}}(n) &= [C + (1 - C) \cdot RTS(0)] \cdot G_{2-m,interior}(n) + \\
 &\quad \sum_{j=1}^{23} (1 - C) \cdot G_{2-m,interior}(n - j) RTS(j) \\
 C_{\text{arga1-m,int}}(n) &= \sum_{j=1}^{23} (1 - C) A_{\text{cerr,unacara,int}} \cdot \\
 &\quad [T_{sx}(n - j) \cdot (Z_N^*(0) + 2Y_N^*(0) - X_N^*(0))] \cdot RTS(j) \\
 VC &= [C + (1 - C) \cdot RTS(0)]
 \end{aligned}$$

4.2.1.14. Caso de muebles

Se considera los muebles como una placa de un determinado material, y un cierto espesor, se encuentra “suspendido” en el aire dentro la habitación. Por tanto, transmite calor por la parte superior como inferior. En general todos los programas de simulación consideran como una placa de 2 o 3 pulgadas, presentando 1 m² de superficie de mueble por metro cuadrado de superficie acondicionada. Las características de los valores tomados en este procedimiento es una solución intermedia entre muebles “ligero” o “pesados”, y cuyas propiedades se facilitan en el siguiente cuadro.

U	Espesor (m)	k (W/mK)	ρ (kg/m ³)	Cp (J/kgK)	h _{ci} (W/m ² K)
1.66	0.065	0.19	960	1255	7.69

Al ser un elemento interior al edificio, se aborda con la misma técnica que en el caso de forjados interiores, es decir con los factores de respuesta X, Y, Z, se facilitan en la gráfica (4.26).

La ganancia en los muebles es igual a:

$$\begin{aligned}
 G_{\text{Muebles}} &= A_{\text{Muebles una cara}} \left[\sum_{j=0}^{\infty} T_{sx}(n - j) Y(j) + \sum_{j=0}^{\infty} T_{sx}(n - j) Z(j) - \right. \\
 &\quad \left. - \sum_{j=0}^{\infty} T_{sx}(n - j) X(j) + \sum_{j=0}^{\infty} T_{sx}(n - j) Y(j) \right] \tag{4.41}
 \end{aligned}$$

Y que se puede expresar como:

$$G_{\text{Muebles}} = G_{1-muebles}(n) + G_{2-muebles}(n) \tag{4.42}$$

donde:

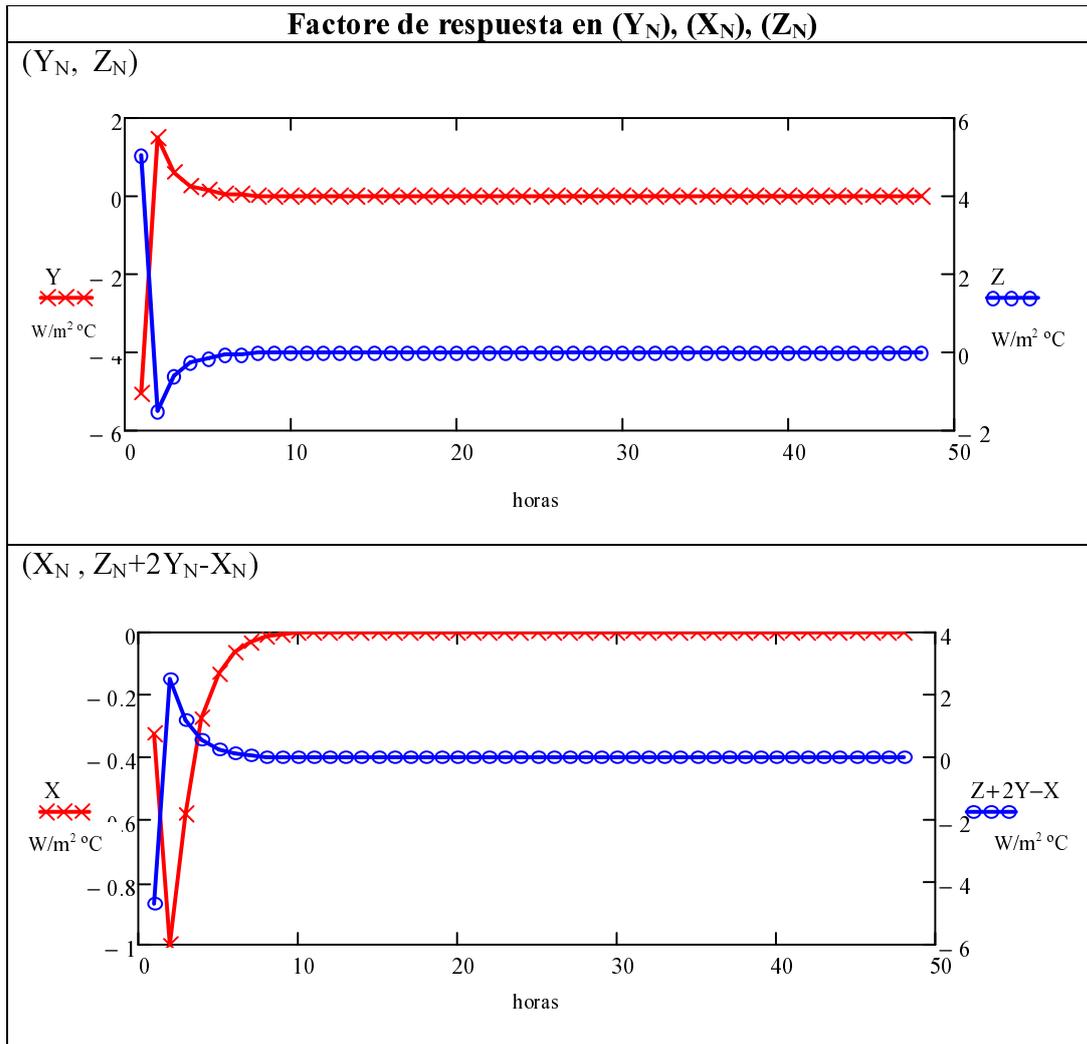


Figura 4.26: Factores de respuesta Y, X, Z de muebles.

$$G_{1-muebles}(n) = A_{suelo} \frac{A_{Muebles\ una\ cara}}{A_{Suelo}} [T_{sx}(n) \cdot (Z(0) + 2Y(0) - X(0))]$$

$$G_{2-muebles}(n) = A_{suelo} \frac{A_{Muebles\ una\ cara}}{A_{Suelo}} \left[\sum_{j=1}^{\infty} T_{sx}(n-j) \cdot (Z(j) + 2Y(j) - X(j)) \right]$$

Y asumiendo

$$\frac{A_{Muebles\ una\ cara}}{A_{suelo}} = \frac{1}{2}$$

Si la temperatura es inferior a la de los muebles el calor debe ser positivo (se devuelve de los muebles).

De igual forma que en el caso de los muros interiores, las ganancias de los cerramientos internos se aplica la metodología *RTS* para convertir en carga (en ese instante e instantes posteriores), ver ecuación (4.40).

4.2.2. Transferencia por puentes térmicos

En los puentes térmicos, no se considera la inercia térmica de los mismos. La ganancia de calor se determina a partir de la siguiente ecuación (tal como se hace en los programas oficiales):

$$G_{\text{ganancia_Puentes}} = U_L^* L_{\text{puentes}} [T_{se}(n) - T_{sx}(n)] \quad (4.43)$$

Positivo si la temperatura exterior es mayor que la del local

La estimación de la longitud de los diferentes puentes térmicos se realiza en base a los datos de entrada:

- De la relación entre el volumen y la superficie total habitable se obtiene la altura media de cada planta.
- De la relación entre la superficie habitable y el área del suelo se obtiene de forma aproximada el número de plantas.
- De la relación entre el área de muros y la altura de cada planta se obtiene la longitud en desarrollo de puentes térmicos de forjados y suelos.
- De la relación anterior y el número de plantas se obtiene de forma aproximada la longitud del puentes térmicos por planta.
- Se elimina aquella longitud que provenga de techos, suelos y muros adiabáticos.
- Mediante el proceso anterior se tiene aproximadamente la longitud de puentes térmicos de forjados, suelo y cubierta.
- Se considera un valor aproximado de distancia entre pilares de $4m.$, por lo que se asume un número de pilares (uno cada 4 metros), menos esquinas, más el ultimo poste, (si no se ha facilitado la longitud de los puentes térmicos).
- Finalmente el puente térmico de los huecos, se obtiene directamente por que se conocen las dimensiones (alto y ancho) de los huecos.
- En código de programación se estructura de la siguiente manera:

$SueloHabitableTotal = \sum SueloHabitable(rec)$ $VolumenHabitableTotal = \sum VolumenHabitable (rec)$ $AlturaMedia = VolumenHabitableTotal / SueloHabitableTotal;$ $FactorSuperficie = (AlturaMedia - EspesorForjados) / AlturaMedia;$ $Asuelo.total = \sum Asuelo.terreno(rec) + Asuelo.ext(rec) + Asuelo.adiabatico(rec) +$ $Asuelo.vaciosanitario(rec) + Asuelo.alocalnohabitable(rec)$ $Nalturas = SueloHabitableTotal / Asuelo.total \text{ if } (Nalturas < 1) \text{ Nalturas} = 1$

$$\begin{aligned}
\text{Altura Total} &= \text{Nalturas} * \text{Altura media} \\
\text{Asuelo Terreno Total} &= \sum \text{Asuelo.terreno}(rec) \\
\text{Perimetro Suelo Terr Total} &= 4 [\text{Asuelo Terreno Total}]^{0,5} ; \\
\text{Asuelo Ext Total} &= \sum \text{Asuelo.ext}(rec) ; \\
\text{Perimetro Suelo Ext Total} &= 4 [\text{Asuelo Ext Total}]^{0,5} ; \\
\text{Asuelo Adiabatico Total} &= \sum \text{Asuelo.adiab}(rec) ; \\
\text{Perimetro Suelo Adiab Total} &= 4 [\text{Asuelo Adiabatico Total}]^{0,5} ; \\
\text{Asuelo Otro Total} &= \sum [\text{Asuelo.vaciosanitario}(rec) + \text{Asuelo.localno acond}(rec)] ; \\
\text{Perimetro Suelo Otro Total} &= 4 [\text{Asuelo Otro Total}]^{0,5} ; \\
\text{Area Techo Ext Total} &= \sum \text{ATecho.ext}(rec) ; \\
\text{Perimetro Techo Ext Total} &= 4 [\text{Asuelo Techo Ext Total}]^{0,5} ; \\
\text{Area Techo Adiabatico Total} &= \sum \text{ATecho.adiabatico}(rec) ; \\
\text{Perimetro Techo Adiabatico Total} &= 4 [\text{Area Techo Adiabatico Total}]^{0,5} ; \\
\text{NPilares Totales Planta} &= ((\text{Perimetro Suelo Terr Total} + \text{Perimetro Suelo Otro Total} + \\
&\text{Perimetro Suelo Ext Total} + \text{Perimetro Suelo Adiab Total}) / 4) - 4 + 1 ; \\
\text{if (NPilares Totales Planta} &< 0) \text{NPilares Totales Planta} = 0 ; \\
\text{Paredes Ext Total} &= \sum [\text{Amuro1N}(rec) + \text{Amuro1Sombra}(rec) + \text{Amuro1O}(rec) + \\
&\text{Amuro1SO}(rec) + \text{Amuro1S}(rec) + \text{Amuro1SE}(rec) + \text{Amuro1E}(rec) + \text{Amuro2N}(rec) + \\
&\text{Amuro2Sombra}(rec) + \text{Amuro2O}(rec) + \text{Amuro2SO}(rec) + \text{Amuro2S}(rec) + \\
&\text{Amuro2SE}(rec) + \text{Amuro2E}(rec) + \text{Amuro3N}(rec) + \text{Amuro3Sombra}(rec) + \\
&\text{Amuro3O}(rec) + \text{Amuro3SO}(rec) + \text{Amuro3S}(rec) + \text{Amuro3SE}(rec) + \text{Amuro3E}(rec) + \\
&\text{Amuroalocalno acond}(rec) + \text{Amuroterreno}(rec)] ; \\
\text{Perimetro Paredes Ext Total} &= \text{Paredes Ext Total} / \text{Altura Media} ; \\
\text{Paredes Adiabatico Total} &= \sum [\text{Amuro.adiabatico}(rec)] \\
\text{Perimetro Paredes Adiab Total} &= \text{Paredes Adiabatico Total} / \text{Altura Media} ;
\end{aligned}$$

Una vez determinado los perímetros de los puentes térmicos a continuación se determina:

$$\blacksquare U_L^* L_{puentes}$$

Existen tres posibilidades de definir el valor de U_L^* :

- Función de la tipología del puente térmico. Los valores de conductancia térmica lineal se asignan en función de las características constructivas o tipología del puente térmico y de la zona climática donde se encuentra el edificio.
 - Tipo de encuentro con frente de forjado: frente forjado no aislado, frente de forjado aislado o aislamiento continuo.
 - Pilares del puente térmico: encuentro con pilar no aislado, encuentro con pilar aislado por el exterior, encuentro con pilar aislado por el interior o sin pilares.
 - Tipo de encuentro con jambas de ventanas: sin aislamiento en fachadas, aislamiento en contacto con el marco o aislamiento sin contacto con el marco.

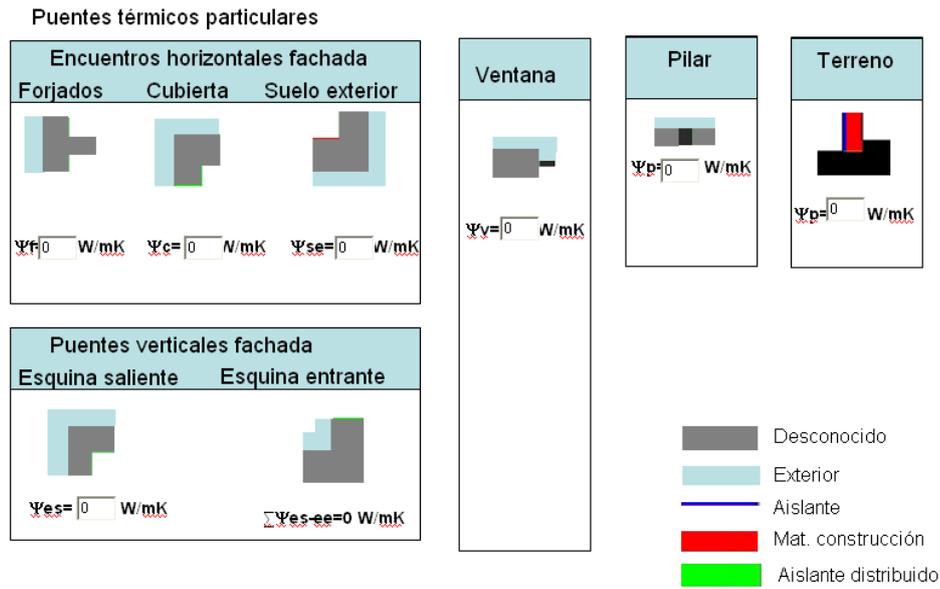


Figura 4.27: Ingreso de valores de conductancia térmica lineal. Fuente: Programa CERMA.

- Fijar valores.
En esta opción se introducen los valores de conductancia térmica lineal de cada uno de los puentes térmicos definidos, como se ve en la figura (4.27).
- Valores por defecto de LIDER. En esta opción se toman los valores de la conductancia térmica lineal por defecto del programa LIDER. Valores que son diferentes para cada zona climática de España.

La ganancia total de los puentes térmicos se puede expresar como un término que depende de la temperatura equivalente en ese instante y otra que depende del instante considerado.

$$G_{total,Puentes}(n) = G_{1-puentes}(n) + G_{2-puentes}(n) \quad (4.44)$$

donde:

$$G_{2-puentes}(n) = U_L^* L_{puentes} T_{se}(n)$$

$$G_{1-puentes}(n) = -U_L^* L_{puentes} T_{sx}(n)$$

Para evaluar la carga se aplica el método *RTS*.

$$C_{carga,Puentes} = [C + (1 - C) \cdot RTS(0)] G_{1-puentes}(n) + \sum_{j=1}^{23} (1 - C) \cdot G_{1-puentes}(n - j) \cdot RTS(j) + [C + (1 - C) \cdot RTS(0)] G_{2-puentes}(n) + \sum_{j=1}^{23} (1 - C) \cdot G_{2-puentes}(n - j) \cdot RTS(j) \quad (4.45)$$

Finalmente la carga en puentes térmicos es igual a:

$$C_{carga\ puentes} = C_{carga2,puente}(n) - VC \cdot U_L^* L_{puente} T_{sx}(n) + C_{carga1,puente}(n) \quad (4.46)$$

$$C_{carga2,puente}(n) = [C + (1 - C) \cdot RTS(0)] \cdot U_L^* L_{puente} T_{se}(n) + \sum_{j=1}^{23} (1 - C) \cdot U_L^* L_{puente} T_{se}(n - j) \cdot RTS(j)$$

$$C_{carga1,puente} = - \sum_{j=1}^{23} (1 - C) \cdot U_L^* L_{puente} T_{sx}(n - j) \cdot RTS(j)$$

$$VC = [C + (1 - C) \cdot RTS(0)]$$

4.2.3. Transferencia de calor por huecos

La cantidad de calor transferida por un hueco (ventana, puerta o claraboya) tiene tres componentes: conducción, radiación e infiltración.

4.2.3.1. Conducción

Esta componente no tiene inercia térmica y se trata de forma análoga al caso de puentes térmicos. Por tanto se puede expresar como un término que depende de la temperatura equivalente en ese instante y otra que depende del instante considerado.

$$G_{cond.ventana}(n) = G_{1-ventana}(n) + G_{2-ventana}(n) \quad (4.47)$$

donde:

$$G_{1-ventana}(n) = -A_h \cdot U_{h,M} T_{sx}(n)$$

$$G_{2-ventana}(n) = A_h \cdot U_{h,M} T_{se}(n)$$

Igualmente

$$C_{carga\ cond,ventana} = C_{carga2,ventana}(n) - VC \cdot A_h \cdot U_{h,M} T_{sx}(n) + C_{carga1,ventana}(n) \quad (4.48)$$

$$C_{carga2,ventana}(n) = [C + (1 - C) \cdot RTS(0)] \cdot A_h \cdot U_{h,M} T_{se}(n) + \sum_{j=1}^{23} (1 - C) \cdot A_h \cdot U_{h,M} T_{se}(n - j) \cdot RTS(j)$$

$$C_{carga1,ventana}(n) = - \sum_{j=1}^{23} (1 - C) \cdot A_h \cdot U_{h,M} T_{sx}(n - j) \cdot RTS(j)$$

$$VC = [C + (1 - C) \cdot RTS(0)]$$

El coeficiente global de transmisión de calor U se obtiene por:

$$U_{huecos\ sin\ persiana} = U_{cristal}(1 - FM) + U_{marco}FM \quad (4.49)$$

Si existe persianas en un $x\%$ de ventana (tiradas un $x\%$).

$$U_{Modificado,x} = U_{hueco\ sin\ persiana} \left[\frac{\frac{x}{100}}{1 + 0.165 \cdot U_{hueco\ sin\ persiana}} + \frac{100 - x}{100} \right]$$

El programa oficial supone un grado de protección solar, o de otra forma la existencia de persianas que están actuando un 30% del tiempo con el siguiente comportamiento (consideraciones que se aplican en el método propuesto):

Para verano

if (*hora* > 5 *hora* < 22)

$$U_{h,M} = U_{Modificado}$$

else

$$U_{h,M} = U_{hueco\ sin\ persiana}$$

Para Invierno

if (*hora* >= 8 *hora* <= 15)

$$U_{h,M} = U_{hueco\ sin\ persiana}$$

else

$$U_{h,M} = U_{Modificado}$$

También existe la posibilidad de utilizar un factor multiplicativo diferente para verano e invierno (como en el programa oficial).

Verano

$$U_{h,M,verano} = U_{MV} \cdot U_{h,M}$$

Invierno

$$U_{h,M,invierno} = U_{MI} \cdot U_{h,M}$$

donde

U_{MI} factor extra que afecta al coeficiente global en invierno.

U_{MV} factor extra que afecta al coeficiente global en verano.

4.2.3.2. Radiación

Cuando incide radiación sobre una superficie acristalada en parte es reflejada (ρ), en parte absorbida (α) y el resto es transmitida (τ) a través de dicha superficie.

El coeficiente de transmisión depende fuertemente del ángulo de incidencia de la radiación solar, como se muestra en la figura (4.28), pudiendo expresar la dependencia angular (independientemente del tipo de cristal) como:

$$\tau = \tau_0 \cdot 2.5 \cos i \left(1 - \frac{\cos i}{1.6} \right) \quad (4.50)$$

donde:

τ_0 coeficiente de transmisión con incidencia normal a la ventana.

i ángulo de incidencia de los rayos solares respecto a la normal de la ventana.

La radiación incidente se compone de radiación directa con un ángulo (i) y de la radiación difusa (igual intensidad en todas las direcciones), pudiendo se evaluar un valor medio del coeficiente de transmisión difusa de ref. [49]:

$$\bar{\tau} = 0.89\tau_0 \quad (4.51)$$

La radiación absorbida por el cristal en parte se irá por convección al interior y en parte al exterior. Se asume (debido a los diferentes coeficientes de convección exterior e interior), que hacia el interior se transfiere el 35%.

Por lo tanto la radiación transferida se puede expresar como:

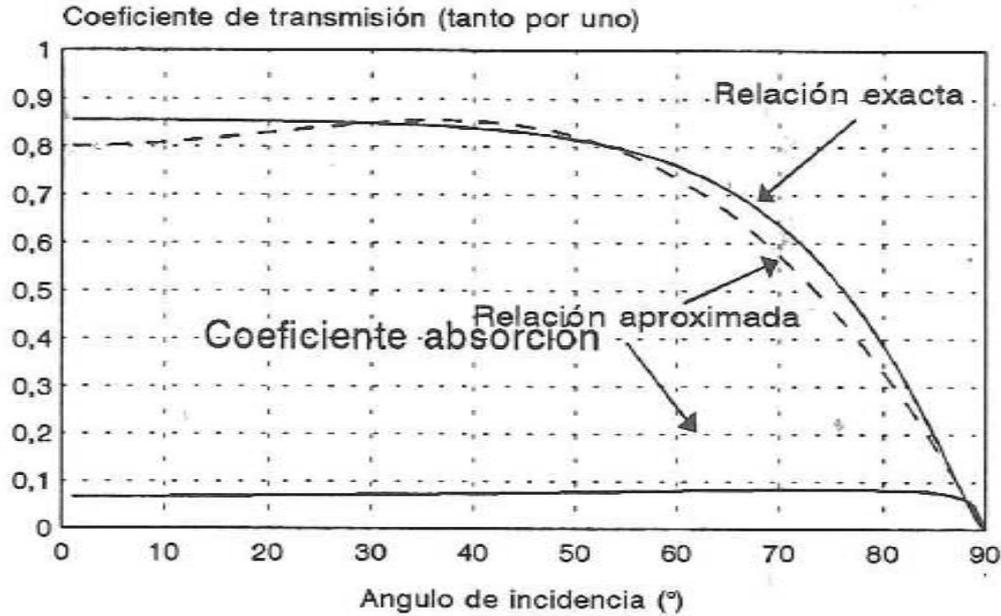


Figura 4.28: Coeficiente transmisión y absorción del vidrio común en función del ángulo de incidencia de la radiación. Fuente *Manual de climatización tomo II*.

$$IR_{ori}(n) = I_{D-(\eta,\gamma)}(n) \cdot \tau + I_{d-(\eta,\gamma)}(n) \cdot 0.89 \cdot \tau_0 + 0.35 \cdot \alpha_{vt} \cdot (I_{D-(\eta,\gamma)}(n) + I_{d-(\eta,\gamma)}(n)) \quad (4.52)$$

Este hecho hace que la energía transferida sea en forma radiante (mr) y en forma convectiva ($1 - mr$), siendo:

$$mr = \frac{I_{D-(\eta,\gamma)}(n) \cdot \tau + I_{d-(\eta,\gamma)}(n) \cdot 0.89 \cdot \tau_0}{I_{D-(\eta,\gamma)}(n) \cdot \tau + I_{d-(\eta,\gamma)}(n) \cdot 0.89 \cdot \tau_0 + 0.35 \cdot \alpha_{vt} \cdot (I_{D-(\eta,\gamma)}(n) + I_{d-(\eta,\gamma)}(n))} \quad (4.53)$$

Para vidrios transparentes (los que se utilizan en edificios residenciales) el valor de $mr = 0.97$, es decir prácticamente toda la energía transferida se puede considerar radiante.

Se define el factor solar de un vidrio como la energía transferida respecto a la incidente, es decir:

$$FS = \frac{I_{D-(\eta,\gamma)}(n) \cdot \tau + I_{d-(\eta,\gamma)}(n) \cdot 0.89 \cdot \tau_0 + 0.35 \cdot \alpha_{vt} \cdot (I_{D-(\eta,\gamma)}(n) + I_{d-(\eta,\gamma)}(n))}{I_{D-(\eta,\gamma)}(n) + I_{d-(\eta,\gamma)}(n)} \quad (4.54)$$

La posible existencia de accesorios en el hueco (tales como cortinas, persianas, etc.) se caracterizan por modificar tanto el factor solar (FS) como el factor radiante (mr), ver referencia [49]. Por último podríamos discernir entre un factor solar para radiación directa y uno diferente para radiación difusa en función del accesorio utilizado, pero no suele ser lo práctico.

Así podemos distinguir:

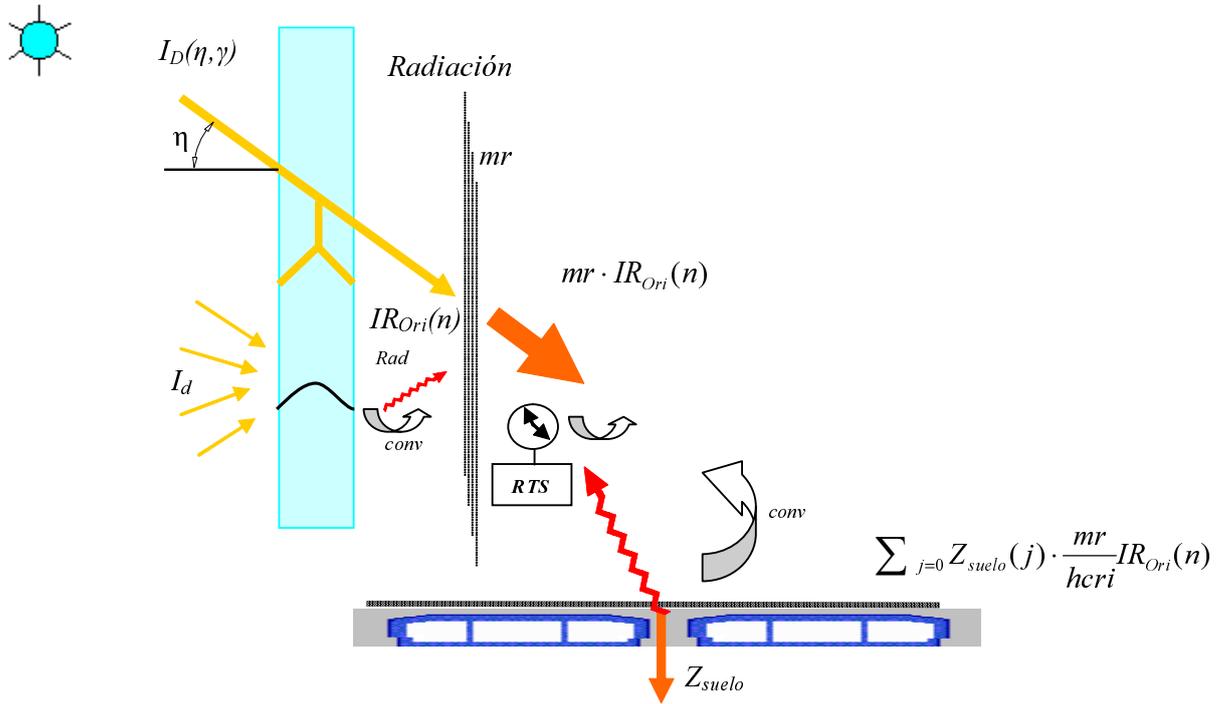


Figura 4.29: Ganancia radiante y convectiva a través del cristal.

$$G_{real-conv,directa}(n) = (1 - mr) \cdot FS \cdot (I_{D-}(\eta, \gamma)(n) + I_{d-}(\eta, \gamma)(n)) \quad (4.55)$$

$$R_{radiación}(n) = mr \cdot FS \cdot (I_{D-}(\eta, \gamma)(n) + I_{d-}(\eta, \gamma)(n)) \quad (4.56)$$

Toda la ganancia radiante indirecta incide sobre los suelos (algunos autores ref.[58] proponen un 50 % de suelo y un 50 % de muebles), donde es absorbida y devuelta a la zona térmica, pudiendo estimar la cantidad de energía devuelta en un instante (n) como:

$$G_{real,indirecta}(n) = (A_{ventanas} \cdot (mr \cdot FS \cdot (I_{D-}(\eta, \gamma)(n) + I_{d-}(\eta, \gamma)(n)))) + \quad (4.57)$$

$$+ A_{ventanas} \sum_{j=0} Z_{suelo}(j) \frac{mr}{hcri} FS \cdot (I_{D-}(\eta, \gamma)(n-j) + I_{d-}(\eta, \gamma)(n-j))$$

A esta ganancia se aplica la metodología *RTS*, metodología que ayuda a saber cuánta ganancia se convierte en carga en el mismo instante e instantes posteriores, así como se muestra en la figura (4.29).

donde:

$Z_{suelo}(j)mr/hcri$ factores que son función del elemento sobre el que incide la radiación, ya sea sobre el suelo y/o muebles.

h_{cri} coeficiente de convección-radiación del cerramiento al interior W/m^2C .

FS factor solar del hueco FS . De acuerdo con la legislación española HE1, lo podemos determinar en función del valor del factor solar del cristal, g facilitado por el fabricante y el tanto por cien de marco FM .

$$FS = (1 - FM)g_{\perp} + FM \cdot 0.04 \cdot U_M \cdot \alpha_m \quad (4.58)$$

donde

FM fracción de marco en tanto por uno (0.04 metálico a 0.15 madera).

g_{\perp} factor solar del cristal o lucernario a incidencia normal.

U_M transmitancia térmica por el marco del hueco o lucernario (W/m^2K).

α_{mc} absortividad del marco (en función del color, valores proporcionados por HE1, se adjunta la tabla a continuación).

<i>Absortividad del marco para radiación solar α_{mc}</i>			
Color	Claro	Medio	Oscuro
Blanco	0.2	0.3	-
Amarillo	0.3	0.5	0.7
Beige	0.35	0.55	0.75
Marrón	0.5	0.75	0.92
Rojo	0.65	0.8	0.9
Verde	0.4	0.7	0.88
Azul	0.5	0.8	0.95
Gris	0.4	0.65	-
Negro	-	0.96	-

En los programas oficiales se considera que en edificios residenciales en verano se tiran las persianas en un 30 % durante las horas de sol y en invierno no. Además existe la posibilidad de asignar un factor multiplicativo diferente para verano como invierno sobre dicho factor solar, por tanto:

Verano

$$FS_{verano} = FSMV \cdot 0.7 [(1 - FM)g + 0.04 \cdot \alpha_{mc} \cdot U_M \cdot FM]$$

Invierno

$$FS_{invierno} = FSMI [(1 - FM)g + 0.04 \cdot \alpha_{mc} \cdot U_M \cdot FM]$$

donde

$FSMI$ factor extra que afecta al invierno.

$FSMV$ factor extra que afecta al verano.

Los valores de

$$GB_{Ori}(n) = (I_{D-(\eta,\gamma)}(n) + I_{d-(\eta,\gamma)}(n)) + \sum_{j=0} Z_{suelo}(j) \frac{1}{h_{cri}} (I_{D-(\eta,\gamma)}(n-j) + I_{d-(\eta,\gamma)}(n-j)) \quad (4.59)$$

fueron estimados mediante el programa vpCLIMA ref.[57].

La superficie de una ventana en parte se encuentra al sol, en parte en sombra (al norte para estas latitudes), por lo tanto, la ganancia total en el instante (n) se obtendrá como:

$$G_{real,indirecta}(n) = A_{sol}FS \cdot mr \cdot GB_{Ori}(n) + A_{sombra}FS \cdot mr \cdot GB_{norte}(n) \quad (4.60)$$

Para edificios residenciales se ha considerado $mr = 1$ (una posible mejora del programa podría ser, tomar otros valores según los accesorios considerados).

Cálculo de área de sol y área de sombra

Se considera elementos de sombra sobre las ventanas del tipo: aleros, retranqueos y sombras que hacen otros edificios o proyecciones del mismo edificio a las ventanas.

La estimación de la fracción al sol del hueco debido a retranqueos o aleros se estima mediante el factor (F_{sol}). Determinando a partir de la geometría, ángulos de proyección del hueco y elementos de sombra.

Se determina un valor al mes y se pondera con la radiación en un día claro, a partir de las siguientes relaciones:

$$F_{sol_{medio}} = \frac{\int_{dia} F_{sol} \cdot Rad_{total}}{\int_{dia} Rad_{total}} \quad (4.61)$$

donde:

Rad_{total} incidencia de la radiación total sobre la ventana en las diferentes orientaciones para un día claro (valor teórico).

El factor de sombra (F_{sombra}) se determina a partir de las características geométricas de la ventana y los ángulos determinantes de la posición del sol. Ángulos que se pueden evidenciar en el siguiente gráfico. Figura que representa a una ventana con un determinado azimut, con diferentes posibilidades de sombra por aleros y retranqueos.

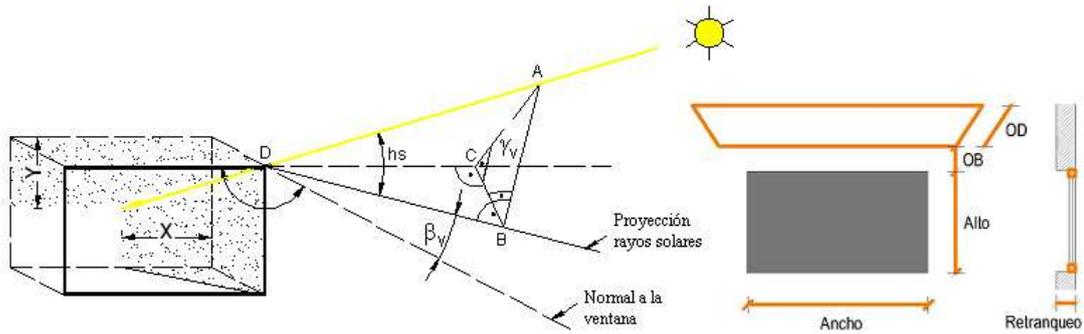


Figura 4.30: Ventana retranqueada. Angulos determinates.

donde:

β_v es el ángulo entre la proyección de los rayos solares sobre la horizontal y la normal a la ventana, es decir las sombras laterales.

$$\beta_v = |As - Av|$$

As y Av son los azimut solar ($^\circ$) y el azimut de la ventana ($^\circ$) (-90° al Este, 0° al sur y $+90^\circ$ al oeste).

γ_v ángulo entre un plano que pasa por una recta horizontal (marco) de la ventana y el sol, con el plano horizontal ($^\circ$), en otras palabras la sombra vertical.

$$tg(\gamma_v) = \frac{\cos(hs)}{\cos |As - Av|}$$

hs altura solar.

Por tanto, la longitud de sombra de los laterales es igual a:

$$x = c \cdot tg(\beta_v)$$

Para el caso de la sombra superior es igual a:

$$\text{Sí } OD \cdot tg(\gamma_v) > OB \quad y = (c + OD) \cdot tg(\gamma_v) - OB$$

$$\text{Sí } OD \cdot tg(\gamma_v) < OB \quad y = tg(\gamma_v)$$

donde:

c retranqueo de la ventana (valor que se introduce al momento de definir los elementos de hueco).

OB distancia de extremo superior de la ventana al alero o toldo.

OD distancia saliente del alero o toldo (ver figura anterior).

por tanto

$$\begin{aligned} Anchosol &= ancho_v - x \\ Altosol &= alto_v - y - OD \end{aligned}$$

La fracción al sol es igual a

$$Fsol = \frac{Anchosol \cdot Altosol}{ancho_v \cdot alto_v} \quad (4.62)$$

La estimación de la fracción al sol del hueco debido a sombras por otros edificios o por el propio edificio se estima mediante el factor ($Fsol2$), definido a partir de:

$$Fsol2 = 1 - \frac{NumeroHuecosSombra_{1...3}}{NumeroHuecos} \quad (4.63)$$

Para determinar $Fsol2$ se procede de la misma manera que el caso de los muros en sombra. Con la diferencia, en el caso de los muros se toma como referencia el plano horizontal (en este caso el suelo), en el caso de las ventanas la referencia horizontal es el centro de la ventana (ventana ubicada más próxima al suelo).

La variable $NumeroHuecoSombra$ es la cantidad de huecos que se encuentran en sombra en cada una de las orientaciones. Se toma el promedio de sombra mensual de las ventanas expuestas en cada una de las orientaciones (varía entre 2 a 3 valores promedio según la orientación como en el caso de muros exteriores). Por ejemplo, en la orientación sur el promedio de sombra será igual la cantidad de sombra de la orientación sur este, sur oeste y la cantidad de sombra de la misma orientación sur, sin embargo en la orientación este, será igual al promedio de sombra de la orientación este y la sur este. De forma similar se determina en las demás orientaciones.

Los datos que se solicita al usuario son la distancia de separación en vertical entre ventanas y su respectiva orientación, más los datos de distancia y altura del posible obstáculo, para poder estimar el número de ventanas en sombra, ver figura (4.31).

El área en sombra para cualquier orientación se obtendrá mediante:

$$\begin{aligned} A_{ori.sombra} &= A_{ori.total} \cdot Fsol2 + (A_{ori.total} - A_{ori.total}Fsol2) \cdot (1 - Fsol) \\ &= A_{ori.total} \cdot (1 - Fsol + Fsol2 \cdot Fsol) \end{aligned} \quad (4.64)$$

La conversión de todas las ganancias radiantes $G_{real,indirecta}(n)$. en carga, al igual que en los casos anteriores se aplica el método RTS (radiant time series).

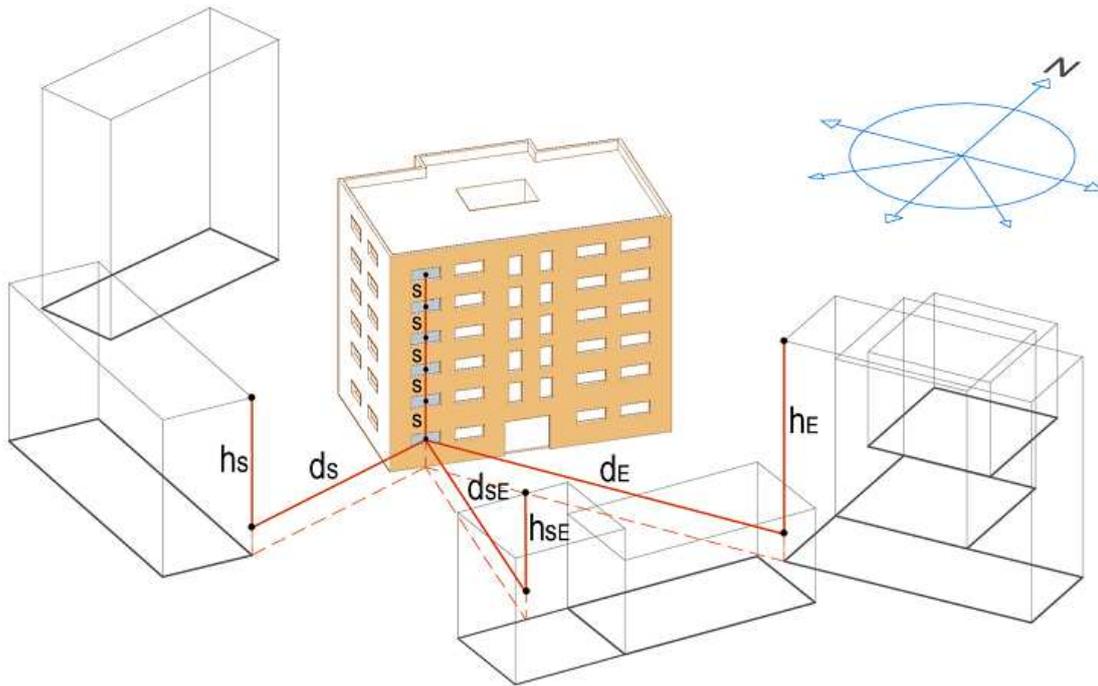


Figura 4.31: Representación de los elementos que conforma el edificio. Fuente: programa CERMA.

Con la salvedad que en este caso el tratamiento es diferente al método original propuesto por Nigusse ref.[42]. Es decir, los valores del método *RTS* se aplican a la ganancia radiante devuelta por el suelo. Se considera como si se estuviera analizando un caso de conducción.

$$C_{carga,rad.ventana}(n) = [C + (1 - C) \cdot RTS(0)] \cdot G_{real,indirecta}(n) + \sum_{j=0}^{23} (1 - C) G_{real,indirecta}(n - j) RTS(j) \quad (4.65)$$

La infiltración de los huecos se analiza en conjunto con toda la infiltración del edificio, que se describe a continuación.

4.2.4. Transferencia por infiltración y ventilación

Todas las ganancias debido a infiltración y ventilación son cargas en el mismo instante.

4.2.4.1. Cálculo del caudal de aire infiltrado

El incremento de presiones en cada fachada es función de la velocidad, dirección del aire (conversión energía cinética en forma de presión “por pararse el aire”) y de la presión de equilibrio que existe dentro del edificio, se define a partir de

unos coeficientes, donde se tiene en cuenta el efecto del ángulo con el que incide el viento (valores medios de 0.25 y -0.5), valores aconsejados por ASHRAE ref. [2].

Fachada expuesta:

$$incrp1 = 0.25 \cdot \frac{\rho \cdot v^2}{2} - pr \quad (4.66)$$

Fachada no expuesta:

$$incrp2 = -0.5 \cdot \frac{\rho \cdot v^2}{2} - pr \quad (4.67)$$

donde:

ρ densidad del aire (kg/m^3).

El caudal infiltrado a través de cualquier elemento es función del salto de presiones y expresada a partir de la siguiente expresión:

$$perm_{vent} = K \cdot (\Delta P)^{0.67} \quad (4.68)$$

(El exponente sería 0.5 en caso de régimen laminar, y 1 para régimen turbulento se acepta un valor medio de 0.67, ref. [2]). Por lo tanto para convertir la permeabilidad debida a una diferencia de presiones y , por otra diferencia de presiones x se realiza de la siguiente manera, como ejemplo para las ventanas:

$$perm_{vent_x} = \frac{perm_{vent_y}}{(y)^{0.67}} \cdot (x)^{0.67} \quad (4.69)$$

La existencia de infiltraciones se consideran en cuatro elementos diferentes: infiltraciones debida a la estructura, infiltraciones por las ventanas, infiltraciones por la caja de persianas e infiltraciones por las rejillas de ventilación.

- Las infiltraciones por “la estructura” se estima en base al volumen del edificio, referenciados a una presión de $4Pa$, que se estandarizan en:

$\dot{V}_4 = 0.6075 m^3/h m^3 edificio$ vivienda unifamiliar a $4Pa$ equivale a 5.25 a $100Pa$.

$\dot{V}_4 = 0.761 m^3/h m^3 edificio$ vivienda en bloque a $4Pa$ equivale a 6.58 a $100Pa$.

Suponiendo un 50 % de fachada expuesta y no expuesta el caudal infiltrado será:

$$\begin{aligned}\dot{V}_{infiltra1} &= 0.5 \cdot \dot{V}_4 \cdot Vol \cdot \left| \frac{incrp1}{4} \right|^{0.67} \text{signo}(incrp1) \\ \dot{V}_{infiltra2} &= 0.5 \cdot \dot{V}_4 \cdot Vol \cdot \left| \frac{incrp2}{4} \right|^{0.67} \text{signo}(incrp2)\end{aligned}\tag{4.70}$$

Con $\text{signo}(incrp1)$ y $\text{signo}(incrp2)$ se determina si el caudal infiltrado sale o entra a la zona térmica.

- Las infiltraciones por “las ventanas” se fija en función de su permeabilidad con una diferencia de 100Pa, (m^3/h por metro cuadrado de ventana).

Según el Código Técnico de la Edificación HE1, dicha permeabilidad debe tener unos valores inferiores a:

- para las zonas climáticas A y B: $50m^3/hm^2$.
- para las zonas climáticas C, D y E: $27m^3/hm^2$.

la infiltración por ventanas expuestas y no expuestas es:

$$\begin{aligned}\dot{V}_{infiltra\ventana1} &= perm_{vent100Pa} \cdot \frac{Avent}{2} \cdot \left| \frac{incrp1}{100} \right|^{0.67} \text{signo}(incrp1) \\ \dot{V}_{infiltra\ventana2} &= perm_{vent100Pa} \cdot \frac{Avent}{2} \cdot \left| \frac{incrp2}{100} \right|^{0.67} \text{signo}(incrp2)\end{aligned}\tag{4.71}$$

- Las infiltraciones por caja de persianas ($perm_{cajavent}$) se fijan en función de su permeabilidad con una diferencia de 10Pa, (m^3/h por metro lineal de ventana) dato de cada ventana (y que corresponde a una velocidad de 4 m/s).

La infiltración por caja de persianas suponiendo un 50 % en fachadas expuestas y no expuestas es:

$$\begin{aligned}\dot{V}_{infiltra\cajavent1} &= 0.5 \cdot perm_{cajavent} \cdot Lvent \cdot \left| \frac{incrp1}{10} \right|^{0.67} \text{signo}(incrp1) \\ \dot{V}_{infiltra\cajavent2} &= 0.5 \cdot perm_{cajavent} \cdot Lvent \cdot \left| \frac{incrp2}{10} \right|^{0.67} \text{signo}(incrp2)\end{aligned}\tag{4.72}$$

- Para el caso de rejillas de ventilación, se supone en el edificio existirán las suficientes rejillas, que para una diferencia de $20Pa$ sean capaces de suministrar todo el aire que debe salir por el extractor (el caudal queda definido a partir de la HS3), y en función del número de renovaciones hora se define como:

$$\dot{V}_{extr} = ACH \cdot Vol \quad (4.73)$$

donde ACH es el número de renovaciones hora.

Análogamente al caso anterior se supone un 50 % de rejillas en fachadas expuestas y no expuestas, el caudal de infiltración es:

$$\dot{V}_{vent1} = 0.5 \cdot \dot{V}_{extr} \cdot \left| \frac{incrp1}{20} \right|^{0.67} \text{signo}(incrp1) \quad (4.74)$$

$$\dot{V}_{vent2} = 0.5 \cdot \dot{V}_{extr} \cdot \left| \frac{incrp2}{20} \right|^{0.67} \text{signo}(incrp2)$$

Igualmente en el edificio se supone la existencia de un caudal de extracción (\dot{V}_{extr}) a través de un extractor (en general cocinas y baños). En este caso se supone que los equipos no aportan ventilación (en edificios terciarios habría que considerarlos).

En todo momento en el edificio se deberá cumplir un balance de caudales de aire, el cual se puede expresar como:

$$\begin{aligned} &\dot{V}_{infiltra1} + \dot{V}_{infiltra2} + \dot{V}_{infiltra\ventana1} + \dot{V}_{infiltra\ventana2} + \\ &+ \dot{V}_{infiltra\cajavent1} + \dot{V}_{infiltra\cajavent2} + \dot{V}_{vent1} + \dot{V}_{vent2} - \dot{V}_{extr} = 0 \end{aligned}$$

De dicha expresión se podrá obtener la presión de equilibrio (pr) en cualquier momento.

Para la estimación de las infiltraciones los programas oficiales consideran la media de las existentes con una velocidad de $0m/s$ y de $4m/s$.

A $0m/s$ es evidente que los incrementos de presiones son negativos (ecuaciones 4.66 y 4.67) y por tanto, la cantidad del aire que se introduce por los diferentes elementos antes expuestos corresponde exactamente al caudal de extracción. En ese instante podemos decir que no existen infiltraciones.

A $4m/s$ se tiene incremento de presión tanto negativo como positivo, por lo tanto, la situación es que se introduce aire por la fachada expuesta y sale por la fachada no expuesta más la correspondiente extracción. En este caso el caudal de infiltración será igual al del aire que sale por la fachada no expuesta.

$$\left| \dot{V}_{fachada,expuesta} \right| = \left| \dot{V}_{fachada,no,expuesta} \right| + \left| \dot{V}_{extr} \right| \quad (4.75)$$

Sumando a ambas partes el caudal por la fachada no expuesta y despejando, obtenemos:

$$\left| \dot{V}_{fachada, no, expuesta} \right| = \frac{\left| \dot{V}_{fachada, expuesta} \right| + \left| \dot{V}_{fachada, no, expuesta} \right| - \left| \dot{V}_{extr} \right|}{2} = \frac{\left| \dot{V}_t \right| - \left| \dot{V}_{extr} \right|}{2} \quad (4.76)$$

donde:

$$\begin{aligned} \dot{V}_t = & \left| \dot{V}_{infiltra1} \right| + \left| \dot{V}_{infiltra2} \right| + \left| \dot{V}_{infiltra\ ventana1} \right| + \left| \dot{V}_{infiltra\ ventana2} \right| + \\ & + \left| \dot{V}_{infiltra\ cajavent1} \right| + \left| \dot{V}_{infiltra\ cajavent2} \right| + \left| \dot{V}_{vent1} \right| + \left| \dot{V}_{vent2} \right| \quad (4.77) \end{aligned}$$

Por tanto el caudal infiltrado en media será el 50 % de este (al considera una media entre 0 y 4 m/s).

$$\dot{V}_{inf} = \frac{\left| \dot{V}_t \right| - \left| \dot{V}_{extr} \right|}{4} \quad (4.78)$$

4.2.4.2. Condiciones del aire

Las condiciones de presión y densidad del aire se determinan a partir de las siguientes expresiones:

La presión total en función de la altura de la localidad viene expresado como

$$P_T = 101325 \cdot e^{-0.0001184 \cdot z} \quad (4.79)$$

La presión de vapor es igual a

$$P_v = \frac{P_T W}{0.62198 + W}$$

Siendo la densidad del aire húmedo

$$\rho = \frac{P_T - P_v}{287 \cdot (T_s + 273.15)} \quad (4.80)$$

donde:

z altura sobre el nivel del mar (m).

P_v presión parcial de vapor en (Pa).

P_T presión total en (Pa).

ρ densidad del aire (kg/m^3).

$C_{p\text{aire}}$ calor específico del aire 1.018 ($kJ/kg^{\circ}C$).

\dot{V} caudal volumétrico (m^3/h).

el valor de $m \cdot Cp$ es igual a:

$$mCp = \rho \cdot \dot{V} \cdot \frac{1.018}{3.6} \quad (W/^{\circ}C) \quad (4.81)$$

Finalmente la carga asociada a ese caudal tiene una componente sensible y otra latente. En este procedimiento solo se considera la carga sensible y no la latente.

$$C_{\text{carga,inf Sen}} = \rho \cdot \dot{V}_{\text{inf}} \cdot \frac{1.018}{3.6} \cdot [T_{se}(n) - T_{sL}(n)] \quad (4.82)$$

$$C_{\text{carga,inf Lat}} = \rho \cdot \dot{V}_{\text{inf}} \frac{1}{3.6} \cdot (2501 + 1.805 \cdot T_{se}) \cdot [W_e(n) - W_L(n)] \quad (4.83)$$

donde:

W_e humedad específica exterior ($kg/kgas$).

W_L humedad específica interior ($kg/kgas$).

T_{se} y T_{sL} temperatura exterior e interior del aire ($^{\circ}C$).

$C_{\text{carga,inf Lat}}$ carga latente (W).

Positivo si la temperatura exterior es mayor que la del local (el calor se comunica al aire).

4.2.4.3. Transferencia por ventilación

Análogamente al caso anterior la ganancia de ventilación es toda carga. La carga asociada a ese caudal tiene una componente sensible y otra latente, como en el caso anterior solo se contabiliza la carga sensible y no así la carga latente.

$$C_{\text{carga,vent.sen}} = \rho \cdot \dot{V}_{\text{extr}} \cdot \frac{1.018}{3.6} \cdot [T_{se}(n) - T_{sL}(n)] \quad (4.84)$$

$$C_{\text{carga,ven Lat}} = \rho \cdot \dot{V}_{\text{extr}} \frac{1}{3.6} \cdot (2501 + 1.805 \cdot T_{se}) \cdot [W_{e_e}(n) - W_{e_L}(n)] \quad (4.85)$$

Una particularidad en el cálculo para viviendas residencial, es que el número de renovaciones hora que se considera por la noche en verano es igual a 4 (valores que contabilizan los programas oficiales y de igual forma en el programa propuesto).

4.2.5. Transferencia por ocupación

La ganancia por ocupación ha sido fijada por defecto. De esa manera se conoce la ocupación hora a hora, de la energía sensible y latente que se emite por metro cuadrado de superficie acondicionada. La ganancia total sensible se reparte en ganancia convectiva y ganancia radiante. En este caso se considera que las personas ceden energía de forma radiante del orden del 40 % ($mr=0.4$), por tanto el 60 % será ganancia convectiva que se convierte en carga de forma directa.

$$G_{directa,ocup}(n) = (1 - mr) \cdot G_{sen-personas}(n) \quad (4.86)$$

$$G_{indirecta,ocup}(n) = mr \cdot G_{sen-personas}(n) \quad (4.87)$$

$$G_{lat,directa}(n) = PT_{lat}(n) \quad (4.88)$$

Sin embargo la ganancia radiante será absorbida por los cerramientos interiores de la zona térmica, distribuido de la siguiente forma: 30 % al suelo, 30 % al techo y el 40 % a las paredes.

La ganancia comunicada al recinto de esta energía radiante se evalúa a partir de los factores de respuesta en Z_N .

$$G_{directa2,ocup}(n) = G_{indirecta,ocup}(n) + \sum_{j=0}^{\infty} G_{indirecta,ocup}(n-j) \cdot \left[0.3 \frac{Z_{N-suelo}(j)}{hCi_{suelo}} + 0.3 \frac{Z_{N-techo}(j)}{hCi_{techo}} + 0.4 \frac{Z_{N-pared}(j)}{hCi_{pared}} \right] \quad (4.89)$$

Finalmente a la esta ganancia, ecuación (4.89) se le aplica la metodología *RTS*, para convertir en carga en cada instante:

$$C_{carga,ocup}(n) = G_{directa,ocup}(n) + [C + (1 - C) \cdot RTS(0)] \cdot G_{directa2,ocup}(n) + \sum_{j=0}^{23} (1 - C) G_{directa2,ocup}(n-j) \cdot RTS(j) \quad (4.90)$$

4.2.6. Transferencia por iluminación

La carga aportada por la iluminación se determina de igual forma que el caso de la ocupación. Resaltando que en este caso es sólo calor sensible y que el tipo de iluminaria es incandescente, lo que supone que el tanto por cien de energía en forma radiante es del 80 % ($mr = 0.8$).

4.2.7. Transferencia por equipos

En este caso se supone que el calor sensible es todo del tipo convectivo ($mr = 0$), es decir no existe porcentaje radiante (consideración realiza por el programa oficial de certificación energética CALENER VYP). Por tanto, no existe almacenamiento, y no existe aporte latente. En definitiva es simplemente la

energía estimada directamente con la distribución asignada en edificios residenciales.

$$C_{arga, equi}(n) = A_{acond} G_{equipos, sen}(n). \quad (4.91)$$

4.2.8. Variación de energía interna del aire del local

La variación de la energía interna del aire será:

$$E_{Aire} = M_{Aire} \cdot C_{vAire} \cdot (T_{sL}(n) - T_{sL}(n-1)) \quad (4.92)$$

donde:

M_{Aire} masa de aire de los locales habitables (kg).

C_{vAire} calor específico del aire a volumen constantes ($kJ/kg^{\circ}C$).

E_{Aire} variación de energía interna del local (kJ).

4.3. Balance de energía

En este balance vamos a considerar idénticas la temperatura equivalente interior T_{sx} y la temperatura seca interior T_{sL} , esta aproximación es válida cuando el equipo de climatización se encuentra en marcha, pudiendo presentarse diferencias ante parada de equipos o cuando existe mucha ventilación (en estos casos sería aproximada).

Todas las contribuciones anteriormente descritas se pueden resumir en una ecuación agrupada en dos términos: uno que contiene toda la información sobre los datos de la temperatura y condiciones previas AA y el otro está multiplicado por la temperatura actual del aire en la zona térmica. Factorizando y considerando que en primera instancia no hay equipo de aire acondicionado, se despeja la temperatura del local en esa hora y es igual a:

$$T_{sL}(n) = \frac{-AA}{BB} \quad (4.93)$$

Considerando el equipo de aire acondicionado el balance es igual a:

$$AA + BB [T_{sL}(n)] + Q_{sistema, sen} = 0 \quad (4.94)$$

donde:

$Q_{sistema, sen}$ representa la energía compensada por los sistemas de climatización.

AA y BB es igual a:

$$\begin{aligned}
 AA = & C_{carga2_cerr} + C_{carga1_cerr} + C_{carga,rad.ventana} + C_{carga\ cond,ventana} + \\
 & + C_{carga1,muebles} + C_{carga2,muebles} + C_{carga2_m,int} + C_{carga1_m,int} + \\
 & + C_{carga2,puente} + C_{carga1,puente} + C_{carga,ocup} + C_{carga,ilumi} + \\
 & + C_{carga,equi} + (McpV_{inf} + McpV_{ent}) \cdot T_{se}[n] + Mcv_{Aire} \cdot T_{sL}(n-1)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 BB = & VC \cdot A_{cerr,Orient} Z_N^*(0) - VC \cdot A_h \cdot U_{h,M} - VC \cdot U_L^* L_{puentes} + \\
 & + VC \cdot A_{cerr,unacara,int} [(Z_N^*(0) + 2Y_N^*(0) - X_N^*(0))] + \\
 & + VC \cdot A_{cerr,muebles} [T_{sx}(n) \cdot (Z_N^*(0) + 2Y_N^*(0) - X_N^*(0))] - \\
 & - (McpV_{inf} + McpV_{ent}) - Mcv_{Aire}
 \end{aligned}$$

El proceso de cálculo y las consideraciones que se realiza al balance en cada hora para determinar las demandas de calefacción y refrigeración son las siguientes:

- En esa hora no existe control de temperatura:

El sistema de climatización no se pone en funcionamiento, por lo tanto $Q_{sistema,sen} = 0$ y se calcula la temperatura de equilibrio en esa hora $T_{sL}(n)$.

- En esa hora si existe control de temperatura:

Se realiza el balance suponiendo que no existe sistema $Q_{sistema,sen} = 0$, y se calcula la temperatura de equilibrio en esa hora $T_{sL}(n)$ y se comprueba los siguientes pasos:

1. Si dicha temperatura $T_{sL}(n)$ es superior a la de consigna $T_{consigna}$ caso de calefacción o inferior en caso de refrigeración, no hace falta poner en marcha el sistema de climatización, por lo tanto $Q_{sistema,sen} = 0$, y la temperatura en esa hora es $T_{sL}(n)$.
2. Si dicha temperatura es inferior a la de consigna $T_{consigna}$ caso de calefacción o superior en caso de refrigeración, hace falta poner en marcha el sistema de climatización. Se supone de $T_{sL}(n) = T_{consigna}$ y se vuelve a realizar el balance, en este caso determinado $Q_{sistema,sen,ideal}$.

- Si no existe definido un sistema por el usuario, en este caso se supone la existencia de un sistema por defecto con capacidad infinita y de las siguientes características (tal como hacen los programas oficiales).

- Refrigeración: máquina por compresión eléctrica con un rendimiento sensible de:

$$EER_{sensible} = \frac{Q_{sen}}{W_{elec}} = 1.70$$

- Calefacción: caldera accionada con *gasoleo C* con un rendimiento de 0.75. Por lo cual:

$$T_{sL}(n) = T_{consigna}$$

$$Q_{sistema,sen} = Q_{sistema,sen,ideal}$$

- Si existe definido un sistema por el usuario (ya sea calefacción y refrigeración):
 - El valor calculado será $Q_{sistema,sen,ideal}$ si es inferior al valor que puede dar el equipo $Q_{sistema,sen,max}$ (en condiciones de operación, temperatura exterior e interior, se calcula en base a la temperatura de la hora anterior para evitar iteraciones, lo cual es una aproximación aceptable), será la potencia que facilite el equipo, por tanto:

$$Q_{sistema,sen,equipo} = Q_{sistema,sen}$$

$$T_{sL}(n) = T_{consigna}$$

Finalmente, el consumo de energía depende de la eficiencia del equipo. Cada equipo dispone de curvas características que dependen del factor de carga parcial ($fcpref$) y condiciones de funcionamiento (temperatura seca y humedad exterior e interior). Estas curvas actúan como un factor multiplicador (f), que corrigen la capacidad nominal y la eficiencia de acuerdo a las condiciones de funcionamiento.

$$fcpref = \frac{Q_{sistema,sen,equipo}}{Q_{sistema,sen,max}}$$

$$Q_{sistema,cons} = Q_{sistema,nominal} f(fcpref, T_s, T_h)$$

- Si el valor calculado $Q_{sistema,sen,ideal}$ es superior al máximo que puede dar el equipo (en las condiciones de operación, temperatura exterior e interior) $Q_{sistema,sen,max}$.
 - ◇ En este caso se obra igual que CALENER VYP, es decir, se supone que el equipo se pone al máximo y la falta de demanda no es abastecida. En este caso no se consigue las condiciones de confort, la temperatura oscilara a otro valor. En resumen:

$$\begin{aligned} Q_{sistema,sen} &= Q_{sistema,sen,ideal} \\ T_{sL}(n) &\neq T_{consigna} \end{aligned}$$

donde:

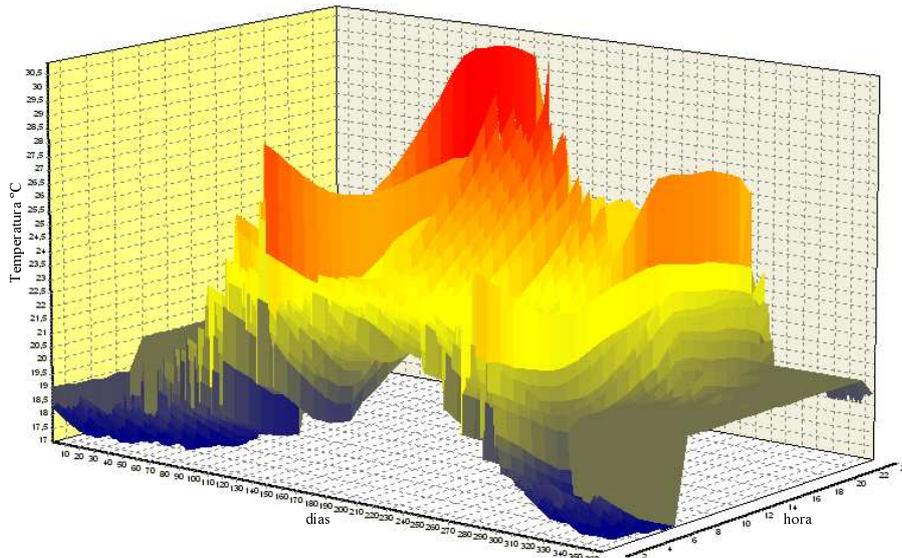


Figura 4.32: Oscilación anual de la temperatura final de la zona térmica. Fuente: programa de certificación energética CERMA.

$$f_{cpref} = 1$$

Se evalúa en esas condiciones el consumo de energía debido al funcionamiento del equipo de climatización

$$Q_{sistema,cons} = Q_{sistema,nominal} f(f_{cpref}, T_s, T_h)$$

Esta opción conlleva a que las instalaciones con muy poca potencia resultarían con una calificación energética elevada (Una vivienda es A si existe un calentador con una potencia mínima).

Finalmente se obtiene las condiciones interiores de la zona térmica en esa hora $T_{sL}(n)$ con la ecuación (4.94) y con el $Q_{sistemas,sen}$ igual al $Q_{sistemas,sen,max}$.

La fluctuación de la temperatura en la zona térmica durante todo el año se ve reflejada en la figura (4.32).

4.4. Demanda y consumo de ACS

El consumo unitario medio de agua caliente sanitaria asociado a una temperatura de referencia de 60 °C según tabla 3.1 de DB-HE4 es de, 30 litros por persona día en el caso de viviendas unifamiliares y 22 litros persona día en el caso de viviendas en bloque o multifamiliares. Para expresar el caudal como “consumo diario medio por metro cuadrado”, se considera que el ratio de personas por metro cuadrado que ocupa una vivienda es independiente del tipo de vivienda e igual

a 0.03 personas por metro cuadrado de superficie útil. Por lo tanto tenemos un consumo de ACS de:

$$Viviendas_unifamiliar = 0.90 \cdot 10^{-3} \frac{m^3}{m^2día}$$

$$Viviendas_bloque = 0.66 \cdot 10^{-3} \frac{m^3}{m^2día}$$

La temperatura media del agua fría se determina según la norma UNE-EN 94002:2005.

La distribución del consumo de ACS a lo largo del día se define en la siguiente gráfica.

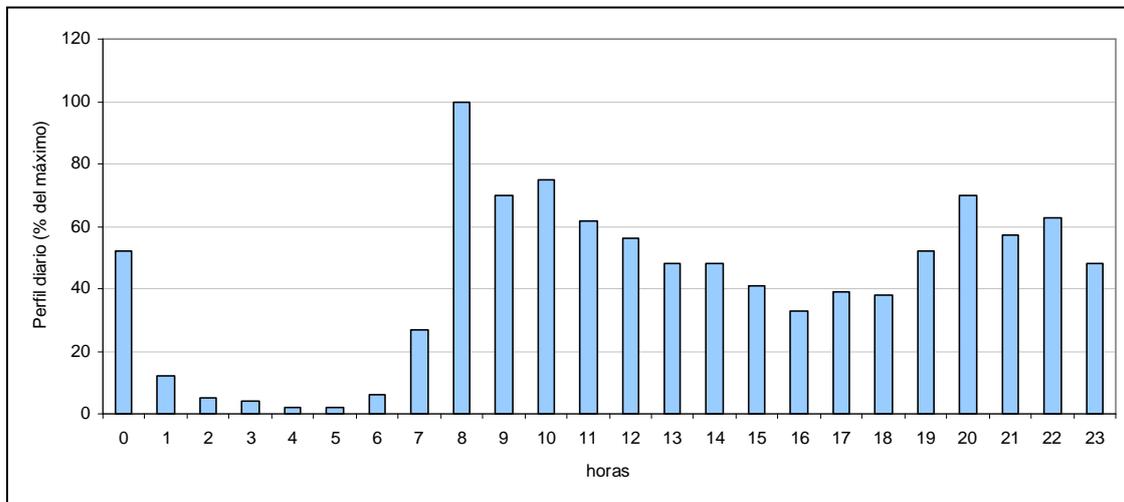


Figura 4.33: Distribución horaria del consumo de ACS.

Para conocer en una hora el consumo de ACS, se multiplicará el consumo diario por el valor de la hora del anterior gráfico, y se dividirá por mil.

La demanda de ACS es función del consumo de litros día estimados, de la temperatura de agua fría (función de la zona climática) y de la fracción de cobertura solar de la instalación solar, por tanto la demanda de agua caliente sanitaria es igual a:

$$Q_{ACS} = \rho_{agua} \cdot Cp_{agua} \cdot V_{ACS} \cdot A_{habitabile} \cdot (1 - f) (T_{ACS} - T_{red}) \quad (4.95)$$

donde:

ρ_{agua} densidad del agua 1000 kg/m^3 .

Cp_{agua} calor específico del agua $4186 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$.

V_{ACS}	caudal volumétrico de ACS (viviendas unifamiliares $0.9 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{m}^2\text{día}$ y viviendas en bloque $0.66 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{m}^2\text{día}$).
T_{ACS}	temperatura del agua caliente sanitaria, igual a 60°C .
T_{red}	temperatura del agua de red (según norma UNE-EN 94 002:2004).
$A_{habitable}$	área habitable del edificio (m^2).
f	fracción de energía aportada por la instalación solar (tanto por uno).

En kWh de forma anual se puede expresar como:

$$Q_{ACS,anual} = 424.82 \cdot V_{ACS} (60 - T_{red}) A_{habitable} \cdot (1 - f) \quad (4.96)$$

donde:

$Q_{ACS,anual}$ consumo anual de agua caliente sanitaria (kWh).

La demanda horaria de ACS bruta (sin aporte solar) se estima mediante:

$$Q_{ACS,hora} = \rho_{agua} C_{p_{agua}} \cdot \frac{V_{ACS}}{24} A_{habitable} CON_{int} (60 - T_{red,mes}) \quad (4.97)$$

donde

CON_{int} consumo de ACS en el intervalo de hora, valor de la gráfica anterior dividido por 1000.

Finalmente si se cubre un porcentaje f de la demanda con energía solar (u otra forma de energía renovable) y de acuerdo con la HE-4 del CTE debe superar un cierto porcentaje en función de la localidad, del tipo sistema auxiliar y del consumo total diario de ACS. Se obtiene la demanda neta de ACS a partir de:

$$Q_{ACS,hora} = \rho_{agua} C_{p_{agua}} \cdot \frac{V_{ACS}}{24} A_{habitable} CON_{int} (60 - T_{red,mes}) \cdot (1 - f) \quad (4.98)$$

A estos valores se les deberá añadir las posibles pérdidas de calor por existencia de tanque de acumulación que se evalúa a partir de la ecuación (5.6) ver capítulo 5.

Capítulo 5

Caracterización de los sistemas y equipos

Los equipos de climatización no trabajan casi nunca en condiciones nominales, puesto que la carga térmica es una componente muy variable con el tiempo (en general muy alejada de las condiciones de diseño). El programa propuesto al hacer una simulación, precisa conocer el comportamiento de los equipos en las diferentes condiciones de funcionamiento. A continuación se especifican las variaciones con respecto a las condiciones nominales que el programa propuesto toma por defecto ref. [8], además recordar que el método propuesto considera los mismos equipos, sistemas y curvas de comportamiento, que se considera en el programa oficial de certificación energética CALENER VYP ref. [16].

Los sistemas de climatización considerados en edificios residenciales son:

- Sistema de ACS:
 - Caldera de ACS.
 - Caldera convencional (Gas Natural, Gasóleo, Fuel-oil, GLP, Carbón, Biomasa) Caldera eléctrica.
 - Bomba de calor de expansión directa aire-agua.
- Sistema mixto de calefacción y ACS:
 - Caldera de calefacción.
 - Bomba de calor de expansión directa aire-agua.
- Sistema de calefacción multizona por agua (radiadores):
 - Caldera de calefacción.
 - Caldera de combustible.
 - Caldera de baja temperatura (Gas Natural, Gasóleo, Fuel-oil, GLP, Carbón).

- Caldera convencional (Gas Natural, Gasóleo, Fuel-oil, GLP, Carbón).
 - Caldera de condensación (Gas Natural, Gasóleo, Fuel-oil, GLP, Carbón).
 - Caldera de biomasa.
 - Caldera eléctrica.
 - Bomba de calor aire agua.
- Sistema de climatización unizona (Compactos vertical,/horizontal, ventana, split, calefacción, eléctrica):
 - Radiadores eléctricos.
 - Equipos compresión sólo frío.
 - Equipos compresión bomba de calor.
 - Equipos con rendimiento estacional equivalente conocido.
 - Sistemas de climatización multizona por conductos (Rooftops, compactos conductos):
 - Equipos compresión sólo frío.
 - Equipos compresión bomba de calor.
 - Sistemas de climatización multizona por expansión directa (Multisplits, VRV.):
 - Equipos compresión sólo frío.
 - Equipos compresión bomba de calor.

5.1. Calderas de ACS

Estos equipos se definen por su rendimiento nominal y por su potencia nominal:

$$\eta = \frac{\eta_N \cdot \text{ren}_T(T_{imp}) \cdot \text{ren}_{FCP_Potencia}(f_{cp_p})}{\text{ren}_{FCP_Tiempo}(f_{cp_t})} \quad (5.1)$$

$$W = \frac{\text{Demanda}}{\eta} \quad (5.2)$$

donde

$$ren_T(T_{imp}) = 1 \quad (5.3)$$

$$ren_FCP_Potencia(fcp_p) = 1 \quad (5.4)$$

Para calderas
Eléctricas

$$ren_FCP_Tiempo(fcp_t) = 1$$

Convencionales

$$ren_FCP_Tiempo(fcp_t) = 0.9313 + 0.0687 \cdot fcp_t$$

La representación gráfica de las ecuaciones se muestra en la figura (5.1).

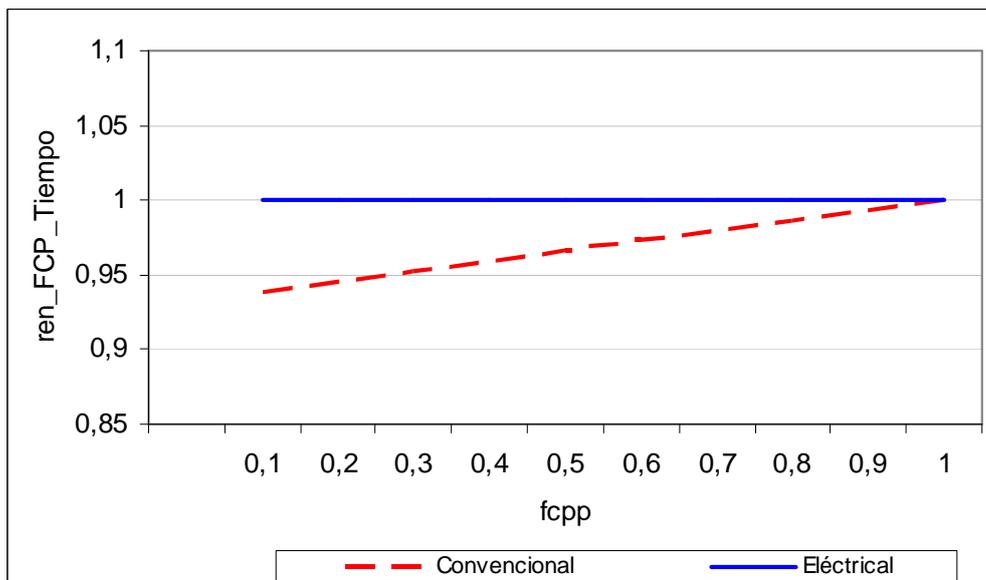


Figura 5.1: Rendimiento de las calderas para agua caliente sanitaria en función del factor de carga parcial.

siendo

$$fcp_t = \frac{Demanda}{Q_{calorN}} \quad (5.5)$$

Demanda demanda horaria de calor ACS (kWh/h).

Q_{calorN} potencia nominal de la caldera de ACS (kW).

T_{imp} temperatura de impulsión ($^{\circ}C$).

W	potencia consumida (kW).
η	rendimiento.
η_N	rendimiento nominal.

En caso de disponer para ACS de un depósito de acumulación, a nivel térmico se define básicamente por su coeficiente de pérdidas de calor UA ($W/^\circ C$). Definido en dos intervalos de temperaturas de consigna, baja (T_B) y alta (T_A).

Tendremos que añadir en este caso unas pérdidas constantes a lo largo del año, con los alrededores supuestos a una cierta temperatura, se asigna a $25^\circ C$.

$$Q_{perdidas\ ACS} = UA \left(\frac{T_B + T_A}{2} - 25 \right) \quad (5.6)$$

Los factores caracterizados anteriormente afecta a la única variable a corregir, que es el rendimiento de la caldera (varía en función del tiempo), las demás variaciones contempladas siempre se corrigen a uno. En la caldera eléctrica el rendimiento se mantiene constante, en las convencionales disminuye a menor carga parcial.

5.2. Calderas de calefacción

Estos equipos se definen por su rendimiento nominal y por su potencia nominal:

$$\eta = \eta_N \cdot ren_T(T_{imp}) \cdot ren_FCP_Potencia(fcp_p) \cdot ren_FCP_Tiempo(fcp_t) \quad (5.7)$$

$$W = \frac{Demanda}{\eta} \quad (5.8)$$

donde

$$ren_T(T_{imp}) = 1 \quad (5.9)$$

$$ren_FCP_Potencia(fcp_p) = 1 \quad (5.10)$$

Para cada una de las calderas el rendimiento en función de la carga parcial se define a partir de las siguientes ecuaciones:

Eléctricas

$$ren_FCP_Tiempo(fcp_p) = 0.9363 + 0.0637 \cdot fcp_p$$

Estándar

$$ren_FCP_Tiempo(fcp_p) = 0.97 + 0.03 \cdot fcp_p$$

Baja temperatura

$$ren_FCP_Tiempo(fcp_p) = 1$$

Condensación

$$ren_FCP_Tiempo(fcp_p) = 1.0914 + 0.0914 \cdot fcp_p$$

Biomasa

$$ren_FCP_Tiempo(fcp_p) = 0.7159 + 0.2841 \cdot fcp_p$$

La representación gráfica de las anteriores ecuaciones de muestra en la figura (5.2).

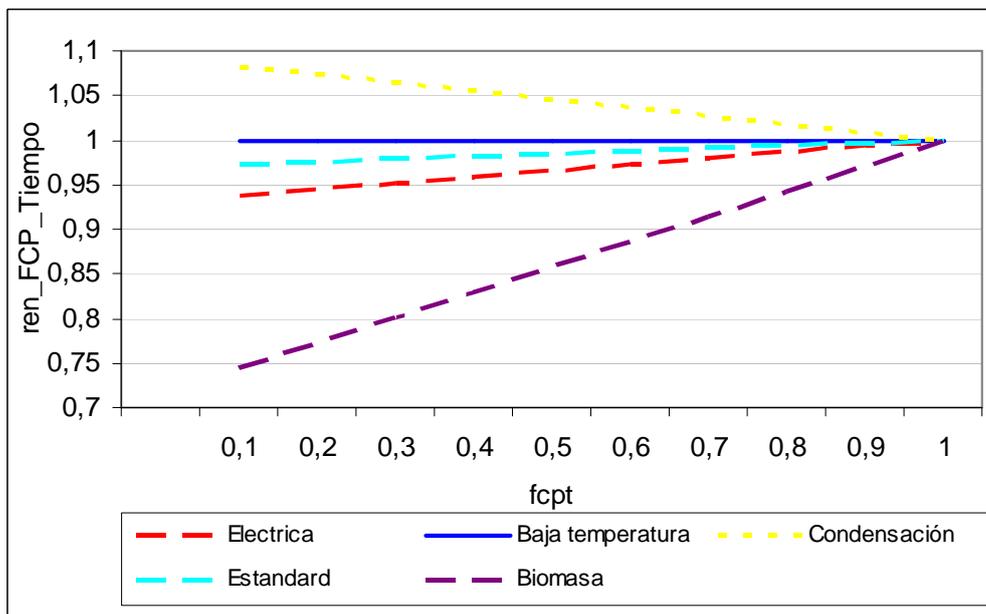


Figura 5.2: Rendimiento de las calderas de calefacción en función del factor de carga parcial.

siendo

$$fcp_{calef} = \frac{Demanda_{calef}}{Q_{calefN}} \quad (5.11)$$

$Demanda_{calef}$ demanda horaria de calefacción (kWh/h).

Q_{calefN} potencia nominal de la caldera de calefacción (kW).

T_{imp} temperatura de impulsión ($^{\circ}C$).

W potencia consumida (kW).

η rendimiento.

η_N rendimiento nominal.

Aplicando los factores de corrección, la única variable que se corrige es el rendimiento de la caldera, por tanto el consumo (el rendimiento es función de la carga parcial) las demás variaciones contempladas se fijan igual a la unidad. Como se puede observar en la gráfica anterior, se puede alcanzar rendimientos sobre el 100 % en el caso de calderas de condensación, es decir, este tipo de calderas tienen mejor rendimiento cuando trabajan a menor carga parcial. El rendimiento se mantiene constante en calderas de baja temperatura y disminuyen en las demás.

5.2.1. Radiadores eléctricos

Este equipo se define por su rendimiento nominal y por su potencia nominal:

$$\eta = ren_FCP (fcp_t) \quad (5.12)$$

$$W = \frac{Demanda_{calef}}{\eta} \quad (5.13)$$

Para este tipo de equipos el factor de carga parcial en calefacción se define cómo la potencia de calefacción (sensible) demandada del equipo para una hora determinada, dividida por la potencia nominal en calefacción que puede suministrar el equipo.

$$fcp_{cal} = \frac{Demanda_{calef}}{Q_{calefN}} \quad (5.14)$$

$$ren_FCP (fcp_t) = fcp_{cal} \quad (5.15)$$

$Demanda_{calef}$ demanda horaria de calefacción (kWh/h).

Q_{calefN} potencia nominal del equipo (radiador) (kW).

De la ecuación (5.15), a nivel práctico se supone que no penaliza nada el funcionamiento del equipo a carga parcial.

Tabla 5.1: Condiciones nominales Eurovent.

Periodo	Unidad interior		Unidad exterior		Unidad exterior	
	Entrada de aire °C		Entrada de aire °C		Agua °C	
	Bulbo seco	Bulbo húmedo	Bulbo seco	Bulbo húmedo	Entrada	Salida
Acondicionadores de aire: Refrigeración	27	19	35	24	30	35
Acondicionadores de Aire Calefacción	20	12 _{max}	7	6	15	-

5.3. Equipos compresión aire-aire sólo frío

Este equipo se define por su potencia nominal sensible, total, su potencia consumida. Los factores de corrección de estas variables son:

$$Q_{refri,total} = Q_{refrigN,total} \cdot capTotRef_T(T_{hL}, T_{se}) \cdot capTotRef_FCP(fcp_{refrig}) \quad (5.16)$$

$$Q_{refrig,sen} = Q_{refrigN,sen} \cdot capSenRef_T(T_{hL}, T_{sL}, T_{se}) \quad (5.17)$$

$$W_{refrig} = W_{refrigN} \cdot conRef_T(T_{hL}, T_{se}) \cdot conRef_FCP(fcp_{refrig}) \quad (5.18)$$

Siendo las condiciones nominales las definidas por Eurovent ver tabla (5.1).

El factor de carga parcial de refrigeración (fcp_{refrig}) de este equipo se define, como la potencia sensible de refrigeración demandada por el edificio dividida por la máxima potencia sensible de refrigeración que puede compensar el equipo, en las condiciones actuales de funcionamiento.

$$fcp_{refrig} = \frac{Demanda_{refrig,sen}}{Q_{refrig,sen}} \quad (5.19)$$

$Demanda_{refrig,sen}$ demanda horaria sensible de refrigeración (kWh/h).

$Q_{refrig,sen}$ potencia sensible en las condiciones de funcionamiento (kW).

$Q_{refrig,total}$ potencia total nominal (kW) en las condiciones de funcionamiento.

W_{refrig} potencia eléctrica consumida (kW) en las condiciones de funcionamiento.

$Q_{refrigN,sen}$ potencia sensible nominal (kW).

$Q_{refrigN,total}$ potencia total nominal (kW).

$W_{refrigN}$ potencia eléctrica nominal consumida (kW).

fcp_{ref} factor de carga parcial sensible de refrigeración.

los factores de corrección son:

$$\begin{aligned} CapTotRef_FCP(f_{cpref}) &= f_{cpref} \\ CapTotRef_T(T_{hL}, T_{se}) &= 0.88078 + 0.0142476T_{hL} + 0.00055436T_{hL}^2 \\ &\quad - 0.00756T_{se} + 0.0000329T_{se}^2 - 0.000192T_{hL}T_{se} \end{aligned}$$

La figura (5.3) muestra la representación gráfica de la ecuación anterior.

Al aumentar la temperatura húmeda interior manteniendo constante las demás variables independientes, la capacidad total del equipo de refrigeración aumenta.

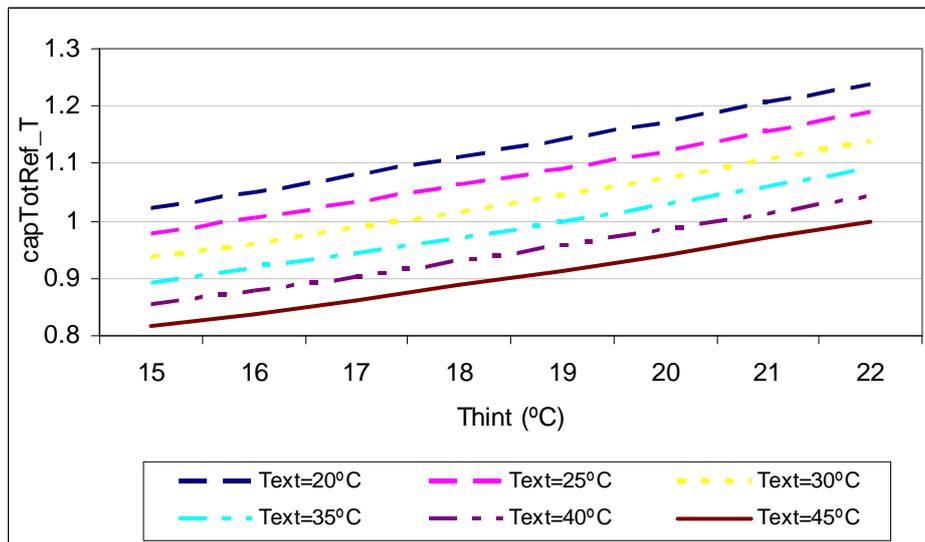


Figura 5.3: Factor de corrección de la capacidad total de refrigeración en función de la temperatura húmeda interior.

$capTotRef_FCP(f_{cpref})$ factor de corrección de la potencia total de refrigeración con la carga parcial de refrigeración.

$$\begin{aligned} CapSenRef_T(T_{hL}, T_{sL}, T_{se}) &= 0.5006018 - 0.04643833T_{hL} - 0.00032472T_{hL}^2 \\ &\quad + 0.0699578T_{sL} - 0.000034275T_{sL}^2 - 0.013202T_{se} \\ &\quad + 0.000079306T_{se}^2 \end{aligned}$$

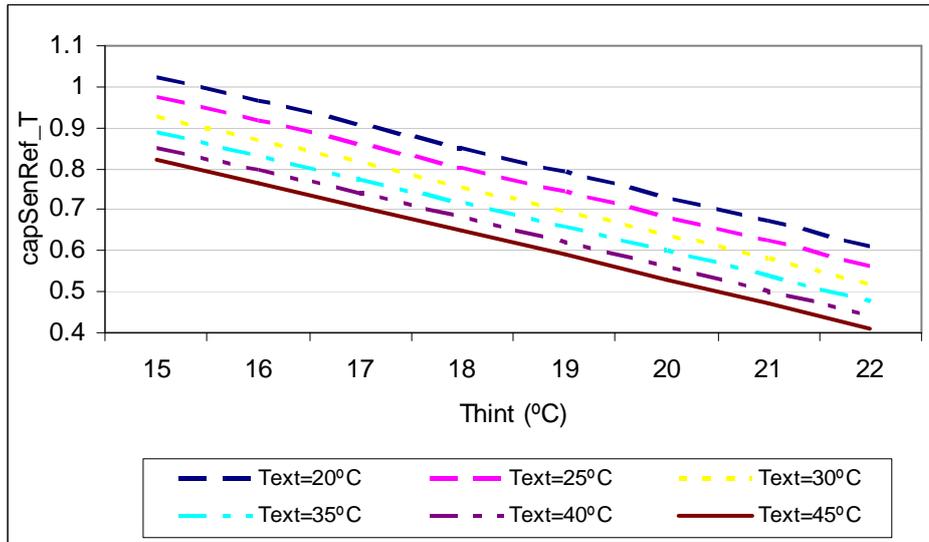


Figura 5.4: Factor de corrección de la capacidad sensible de refrigeración en función de las temperaturas. (temperatura interior=22°C).

$capSenRef_T(T_{hL}, T_{sL}, T_{se})$ factor de corrección de la potencia sensible de refrigeración en función de las temperaturas: húmeda del local, seca del local y seca exterior. Comportamiento que se ve reflejado en la figura (5.4).

$$conRef_T(T_{hL}, T_{se}) = 0.1117801 - 0.02849333T_{hL} - 0.000411156T_{hL}^2 + 0.02141427T_{se} + 0.00016112T_{se}^2 - 0.000679104T_{hL}T_{se}$$

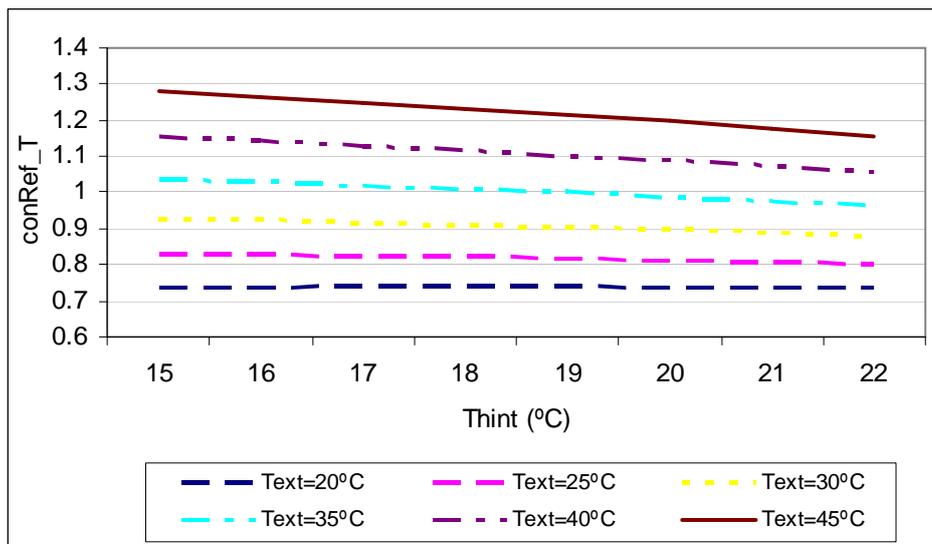


Figura 5.5: Factor corrector de la potencia consumida en función de las temperaturas.

$conRe_T(T_{hL}, T_{se})$ factor corrector de la potencia consumida en función de las temperaturas: húmeda del local y seca exterior. La figura (5.5) muestra el comportamiento del factor corrector para diferentes comportamientos de la temperatura exterior y temperatura húmeda.

$$conRef_FCP(fcp_{refrig}) = 0.201230 - 0.0312175fcp_{refrig} + 1.9504979fcp_{refrig}^2 - 1.1205104fcp_{refrig}^3$$

La ecuación anterior se muestra en forma de gráfica en la figura (5.6).

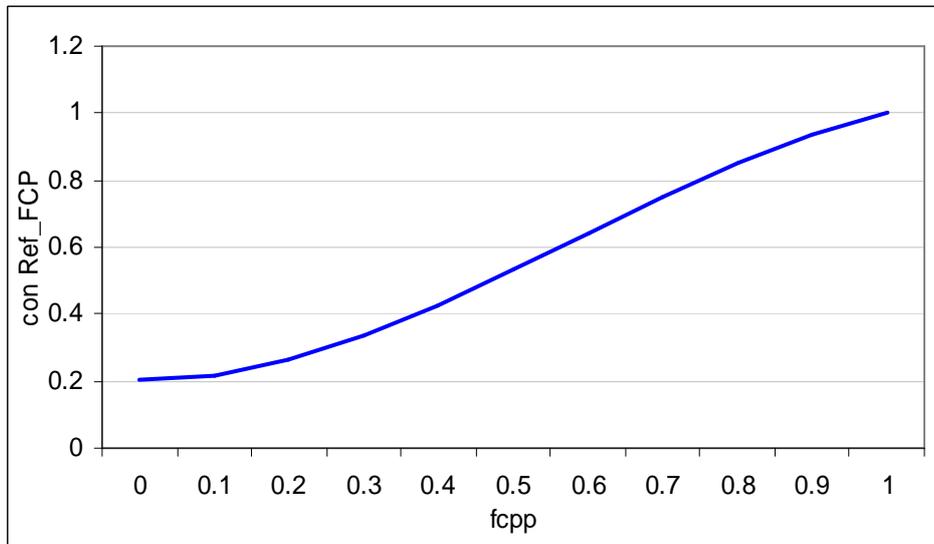


Figura 5.6: Factor corrector de la potencia eléctrica consumida en función de la carga parcial de refrigeración.

$conRef_FCP(fcp_{refrig})$ factor corrector de la potencia eléctrica consumida en función de la carga parcial de refrigeración.

Otro parámetro a tener en cuenta es la eficiencia por el efecto frigorífico, que viene ser el cociente entre la potencia frigorífica total que genera el equipo y la potencia eléctrica consumida.

$$EER = \frac{cap_{ref\ total}}{con_{eref}} = EER_N \cdot F_1(T_{hL}, T_{se}) \cdot F_2(fcp_{ref}) \quad (5.20)$$

donde:

EER_N eficiencia energética del ciclo frigorífico.

$F_1(T_{hL}, T_{se})$ en función de temperaturas (húmeda del local y seca exterior).

$F_2(fcp_{ref})$ en función del factor de carga parcial.

Los valores por defecto que se toma de EER es función de F_1 y F_2 , representadas en las figuras (5.7 y 5.8).

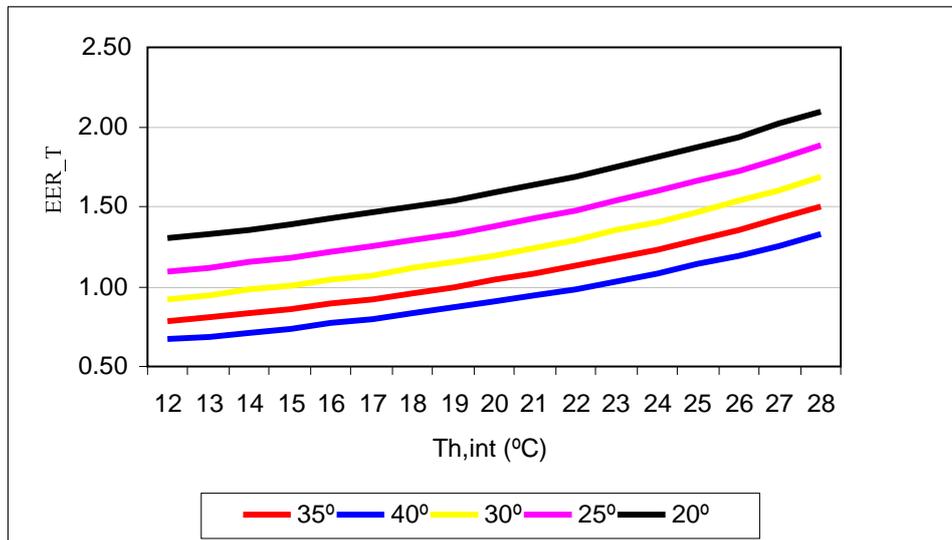


Figura 5.7: EER del equipo de compresión solo frío en función de temperatura.

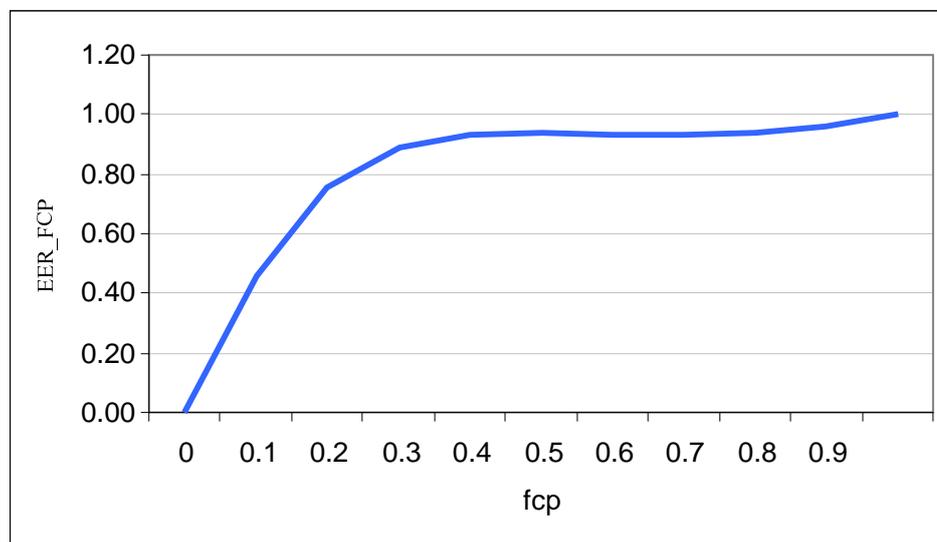


Figura 5.8: EER del equipo de compresión solo frío en función del factor de carga parcial.

El EER varía considerablemente cuando trabaja con cargas parciales muy bajas $fcp_{min} \leq fcp \leq 0.4$. A partir de este último valor el rendimiento casi de mantiene constante.

5.4. Equipos compresión bomba de calor aire-aire

Todas las representación gráficas anteriores son válidas cuando estos equipos funcionan produciendo refrigeración, a continuación se especifica cuando el equipo funciona produciendo calefacción.

El $f_{cp_{cal}}$ se define como la potencia calorífica demandada por el equipo entre la potencia máxima de calefacción, que es capaz de suministrar el equipo en las condiciones actuales de funcionamiento.

$$\begin{aligned} Q_{calef} &= Q_{calefN} \cdot capCAL_T(T_{sL}, T_{he}) \\ W_{ecalef} &= W_{calefN} \cdot conCAL_T(T_{sL}, T_{he}) \cdot conCAL_FCP(f_{cp_{calef}}) \end{aligned} \quad (5.21)$$

donde

$$f_{cp_{calef}} = \frac{Demanda_{calef}}{Q_{calef}} \quad (5.22)$$

los factores de corrección son:

$$capCAL_T(T_{sL}, T_{he}) = 0.814741487 + 0.030682602T_{he} + 0.000032302T_{he}^2$$

ecuación que se refleja en la figura (5.9).

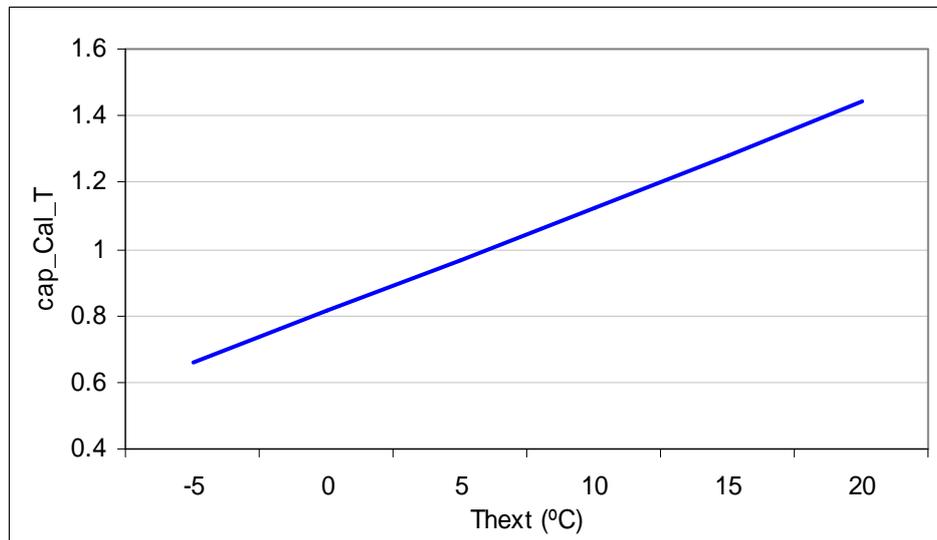


Figura 5.9: Factor de corrección de la capacidad de calefacción de temperaturas.

$capCAL_T(T_{sL}, T_{he})$ factor de corrección de la capacidad de calefacción con las temperaturas: seca del local y húmeda exterior.

$$\text{conCAL}_T(T_{he}) = 1.20122282 - 0.04006338T_{he} + 0.0010877T_{he}^2$$

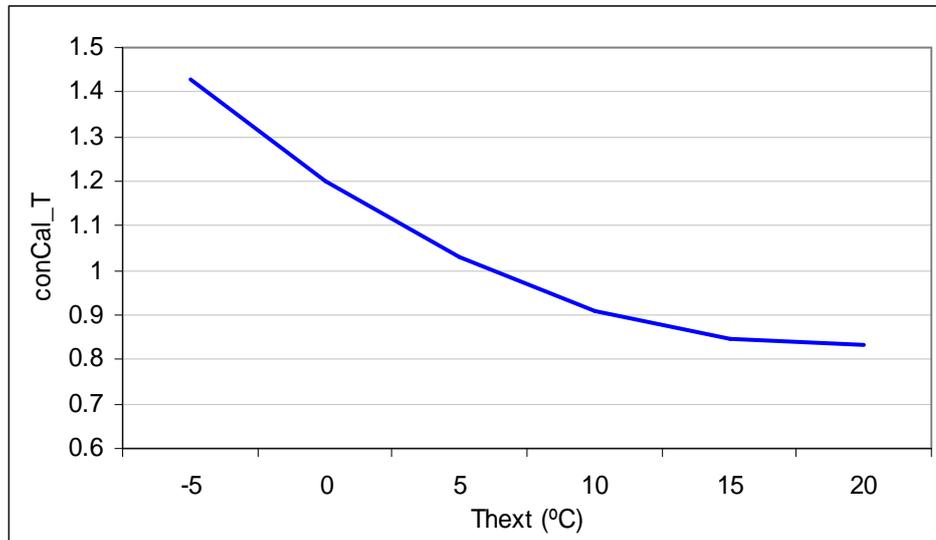


Figure 5.10: Factor corrector del consumo eléctrico en función de la temperatura húmeda exterior.

$\text{conCAL}_T(T_{he})$ factor de corrección del consumo eléctrico de calefacción en función de la temperatura húmeda exterior, (ver figura 5.10).

$$\begin{aligned} \text{conCAL_FCP}(f_{cp_{calef}}) = & 0.08565215 + 0.93881371f_{cp_{calef}} - 0.1834361f_{cp_{calef}}^2 \\ & + 0.15897022f_{cp_{calef}}^3 \end{aligned}$$

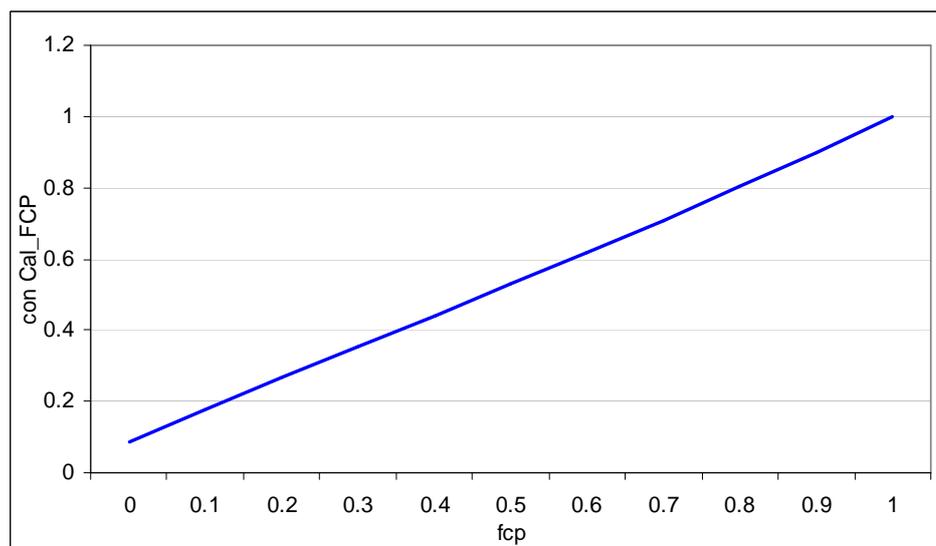


Figura 5.11: Factor corrector del consumo eléctrico versus la carga parcial de calefacción.

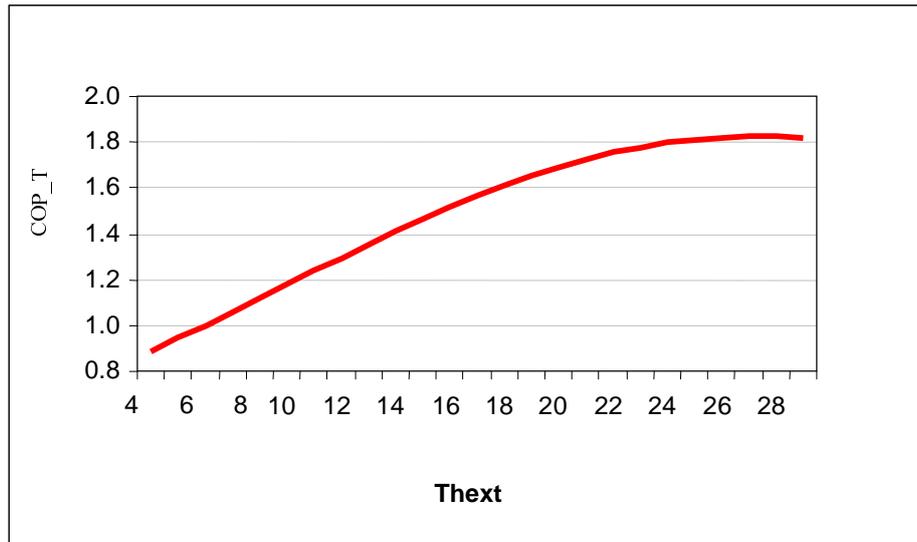


Figura 5.12: COP de la bomba de calor aire-aire versus temperatura.

$conCAL_FCP(fcp_{calef})$ factor corrector del consumo eléctrico a carga parcial en calefacción (ver figura 5.11).

Evidentemente el COP se obtiene por simple división entre la potencia calorífica total que genera el equipo y la potencia eléctrica consumida.

$$COP = \frac{Q_{calef}}{W_{calef}} = COP_N \cdot F_3(T_{he}) \cdot F_4(fcp_{calef}) \quad (5.23)$$

Los valores por defecto que se toma par el COP está en función de F_3 (función de temperatura) y F_4 (función de la carga parcial), representadas en las figuras (5.12 y 5.13).

El coeficiente de performance COP de calefacción, varía considerablemente cuando trabaja con cargas parciales muy bajas y este valor se incrementa progresivamente hasta 0.75, partir de este valor el COP se mantiene constante.

5.5. Equipos de expansión directa aire-agua bomba de calor

Este equipo se define en función de su potencia calorífica nominal, su potencia consumida nominal y sus respectivos coeficientes de corrección.

$$Q_{calor} = Q_{calorN} \cdot cap_T(T_{imp}, T_{he}) \quad (5.24)$$

$$W_{ecalor} = W_{ecalorN} \cdot con_T(T_{imp}, T_{he}) \cdot con_FCP(fcp_{calor}) \quad (5.25)$$

donde

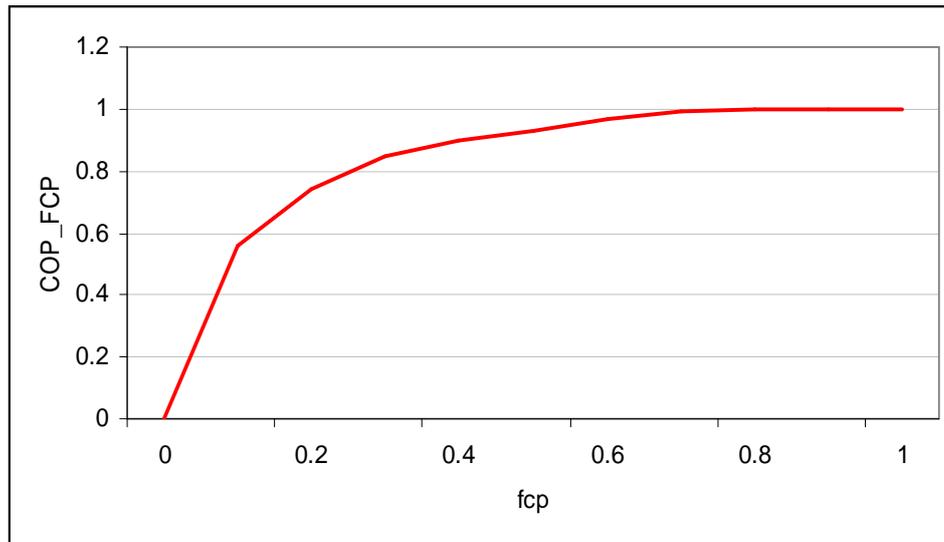


Figura 5.13: COP de la bomba de calor aire-aire versus factor de carga parcial.

Q_{calor} potencia calorífica BC en función de las condiciones de funcionamiento (kW).

Q_{calorN} potencia calorífica nominal BC (kW).

W_{ecolor} potencia eléctrica consumida BC en función de las condiciones de funcionamiento (kW).

$W_{ecolorN}$ potencia eléctrica nominal consumida BC (kW).

Las condiciones nominales de estos equipos se fijan en:

- Temperatura de agua a la entrada: 40°C.
- Temperatura de agua a la salida: 45°C.
- Temperatura de bulbo seco del aire: 7°C.
- Temperatura de bulbo húmedo del aire: 6°C.

Factores de corrección:

$$cap_T(T_{imp}, T_{he}) = 0.814741 + 0.0306826T_{he} + 0.0000323028T_{he}^2$$

T_{imp} temperatura de impulsión (°C).

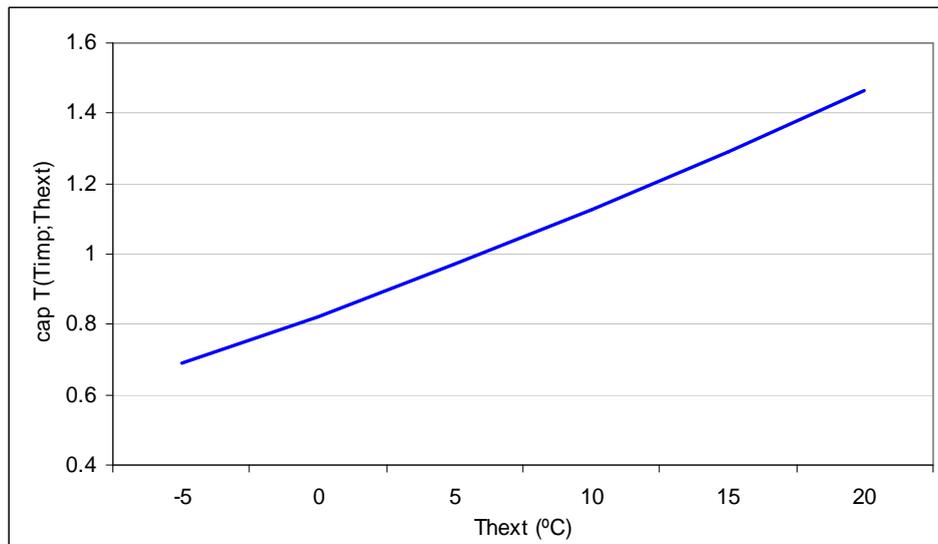


Figura 5.14: Factor corrector de la capacidad calorífica en función de las temperaturas.

$cap_T(T_{imp}, T_{he})$ factor corrector de la capacidad calorífica en función de las temperaturas (ver figura 5.14).

valores por defecto

$$con_T(T_{imp}, T_{he}) = 0.9496 + 0.009T_{he} - 0.0001T_{he}^2$$

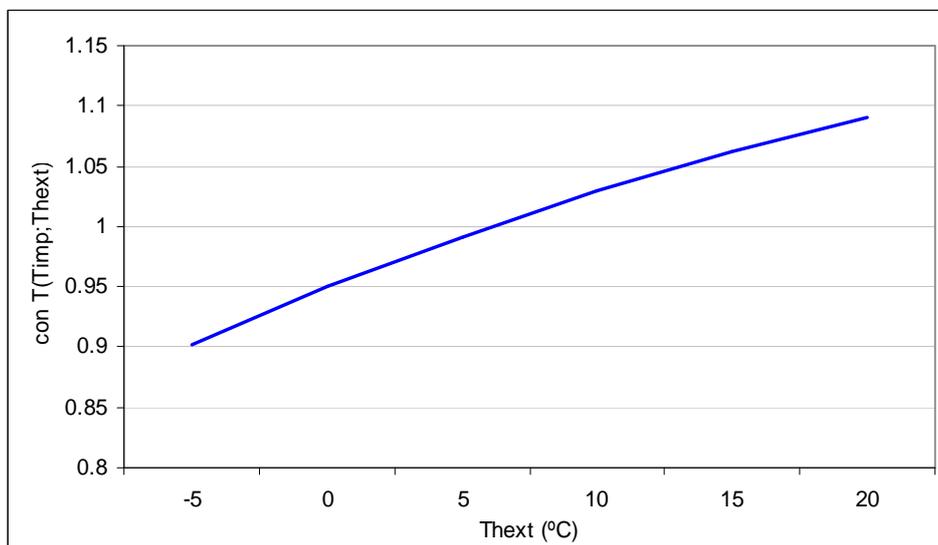


Figura 5.15: Factor de corrección del consumo eléctrico en función de las temperaturas.

$con_T(T_{imp}, T_{he})$ factor de corrección del consumo eléctrico en función de las temperaturas de impulsión del agua y la temperatura húmeda exterior (ver figura 5.15).

además

$$con_FCP(fcp_{calor}) = 0.0856 + 0.93881fcp_{calor} - 0.183436fcp_{calor}^2 + 0.15897fcp_{calor}^3$$

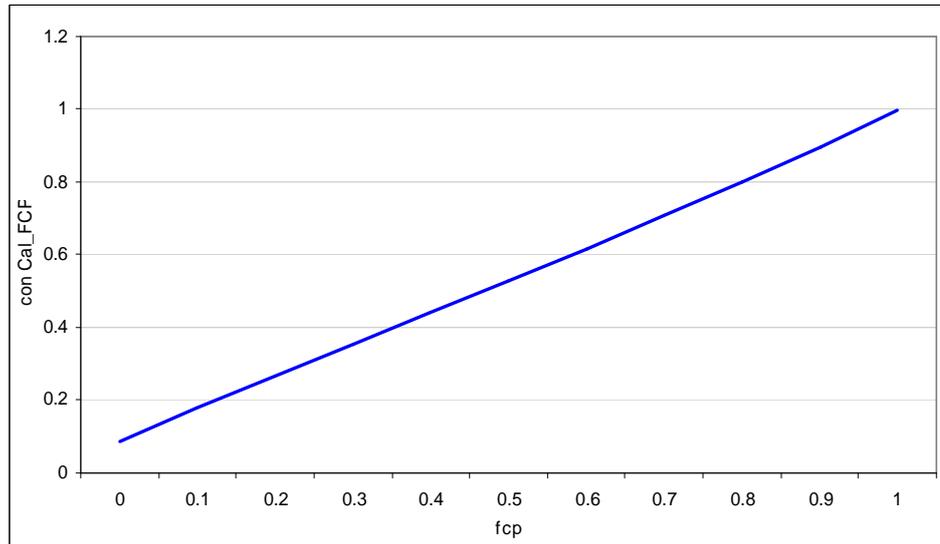


Figura 5.16: Factor corrector del consumo eléctrico versus el factor de carga parcial.

$con_FCP(fcp_{calor})$ factor corrector del consumo eléctrico a carga parcial (ver figura 5.16).

donde

$$fcp_{calor} = \frac{Demanda}{Q_{calor}} \quad (5.26)$$

$Demanda$ demanda horaria de calor ACS (kWh/h).

Q_{calor} potencia calorífica BC en función de las condiciones de funcionamiento(kW).

T_{he} temperatura húmeda exterior ($^{\circ}C$).

El COP se obtiene por simple división entre la potencia calorífica total que genera el equipo y la potencia eléctrica consumida.

$$COP = \frac{Q_{calor}}{W_{ecalor}} \quad (5.27)$$

Los valores por defecto que se toma de COP se muestra en la figura (5.17).

$$\eta = \eta_N \cdot \text{ren_T}(T_{imp}) \cdot \text{ren_FCP_Potencia}(fcp_p) \cdot \text{ren_FCP_Tiempo}(fcp_t) \quad (5.28)$$

$$W = \frac{\text{Demanda}}{\eta} \quad (5.29)$$

donde

$$\text{ren_T}(T_{imp}) = 1 \quad (5.30)$$

$$\text{ren_FCP_Potencia}(fcp_p) = 1 \quad (5.31)$$

Para cada una de las calderas el rendimiento en función de la carga parcial se define a partir de las siguientes ecuaciones:

Eléctricas

$$\text{ren_FCP_Tiempo}(fcp_p) = 0.9363 + 0.0637 \cdot fcp_p$$

Estándar

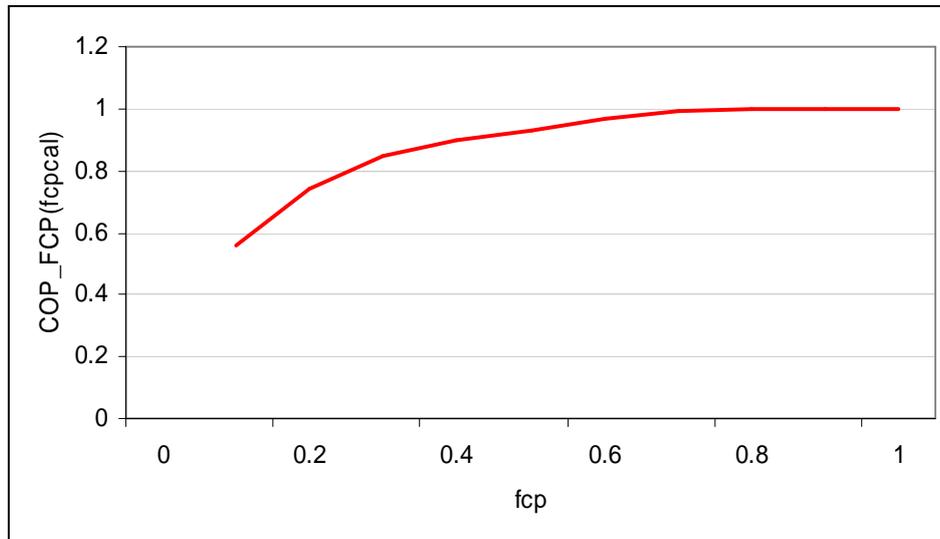


Figura 5.17: COP del equipo de expansión directa versus el factor de carga parcial.

En el método propuesto, la temperatura de impulsión es un dato “oculto” internamente el programa supone un valor constante igual a 60°C (en similitud al programa oficial de certificación CALENER VYP).

Por otro lado, la variación con la temperatura húmeda exterior no está considerada en los valores asumidos por defecto, por lo tanto, realmente el único parámetro que influye en el COP es el factor de carga parcial.

5.6. Equipos con rendimiento estacional equivalente conocido

El programa CALENER VYP al igual que el programa propuesto, solicita en estos casos el rendimiento de los equipos en calefacción y refrigeración (rendimiento medio estacional de los equipos) y el tipo de energía consumida. En el documento reconocido “Prestaciones medias estacionales de equipos y sistemas de producción de frío y calor en edificios de viviendas” ref. [18] se obtiene los valores de los factores multiplicativos a las prestaciones nominales y de esa manera obtener los rendimientos estacionales.

Cuando la fuente consumida es eléctrica (enfriadoras, bomba de calor) se entiende por rendimiento el COP o EER sensible del equipo según su aplicación.

Este sistema se implementó en el programa oficial con la finalidad de simular sistemas que no están incluidos en el programa CALENER VYP, estos sistemas por ejemplo son: la geotermia, los equipos de fan-coils, sistemas de cogeneración, etc.

5.7. Sistemas y equipos por defecto en el edificio

En caso de no definir sistemas y equipos de calefacción o refrigeración en el edificio a proyectar, el programa supone la existencia de los siguientes equipos: para calefacción un equipo de rendimiento estacional equivalente de 0.75 con gasoleo-C y para refrigeración una bomba de calor eléctrica con un rendimiento estacional equivalente EER sensible de 1.7 electricidad. En la zona climática 1 (C1, D1 y E1), no se considera equipo de refrigeración por defecto.

Capítulo 6

Validación del Método

6.1. Análisis de fiabilidad del método simplificado propuesto

Para realizar la validación del método propuesto, se han utilizado 6 edificios oficiales de comparación, más 21 edificios distribuidos en: 11 edificios de viviendas unifamiliares y 10 edificios en bloque, edificios utilizados para la comprobación del método simplificado existente “Opción simplificada para la Calificación de Eficiencia Energética de Edificios de Viviendas”.

Las especificaciones, características constructivas, dimensiones, de cada una de las viviendas se hace mención en Anexos C.

Dichos edificios se han localizado en las 12 zonas climáticas existentes en España, tomando como base una ciudad de referencia en cada zona climática y se muestra en la figura (6.1).

Así mismo, para cada edificio se han considerado cuatro supuesto casos:

1. Edificios originales (que cumplen con el CTE Código Técnico de la Edificación apartado de la HE1).
2. Mejora del coeficiente global de transferencia de calor U de los cerramientos opacos y los huecos.
3. Para dos números de renovación/hora de 0.5 y 1 respectivamente.

Por lo tanto el número total de comparaciones es:

$$12 \cdot (11 + 10) \cdot 4 + 12 \cdot 6 \cdot 2 = 1152 \text{ casos de estudio}$$

6.2. Casos comparados. Datos de partida

6.2.1. Edificios de comparación

A nivel orientativo se facilitan los coeficientes globales de transmisión de calor U utilizados en cerramientos opacos y huecos ver tabla (6.1 y 6.2), no obstante en

Ciudad	Zona Climática
Almería	A4
Cádiz	A3
Sevilla	B4
Valencia	B3
Toledo	C4
Granada	C3
Barcelona	C2
Bilbao	C1
Zamora	D2
Madrid	D3
Vitoria	D1
Burgos	E1



Figura 6.1: Zonas climáticas y ciudades más representativas de España.

cada edificio se han podido modificar el valor de la U para cumplir la HE1, (dichos coeficientes se han calculado suponiendo que los cerramientos dan al exterior en todos los casos, para poder comparar exactamente con los valores introducidos en los programas oficiales cuando se definen las composiciones).

6.2.2. Sistemas diversos

A continuación se muestran los valores de las potencias nominales de los equipos y los sistemas utilizados.

6.2.2.1. Sistemas de Agua caliente sanitaria

El programa de certificación oficial exige en edificios residenciales la existencia de este sistema (si, no se define el sistema de ACS, no se podrá obtener la calificación energética). La potencia y rendimiento para viviendas unifamiliares y viviendas en bloque del sistema de ACS es igual a:

Potencia ACS (kW)	Rendimiento (%)
24	90

6.2.2.2. Sistema multizona de calefacción con caldera convencional

Para ejemplificar de mejor manera la comprobación del uso de sistemas de acondicionamiento (equipos de calefacción y de refrigeración) se realiza las siguientes consideraciones:

1. Se consideran equipos de acondicionamiento en el 100 % del área habitable.
2. Se consideran equipos de acondicionamiento en solo 50 % del área habitable.

Tabla 6.1: Coeficientes globales de transmisión de calor de cerramientos opacos en todos los edificios de comparación y diferentes zonas climáticas de España.

Localidad	Coeficiente globales de transferencia de calor U (W/m^2K)						
	Muro		Cubierta		Suelo		Otro Muro
	Ext.	Cont. Terr.	Ext.	Burd.Ext.	Terr.	Ext.	Ext.Adiab.
Almería	0.8	0.9/0.92	0.62	0.60/1.7	0.9/0.92	0.62/1.7	1.00
Barcelona	0.56/0.6	0.56	0.5	0.44	0.59/0.5	0.44/0.5	1.00
Bilbao	0.6	0.56	0.5	0.44	0.59/0.5	0.44/0.5	1.00
Burgos	0.41	0.6	0.39	0.5/0.6	0.65	0.6	1.00
Cádiz	0.8	0.9	0.62	0.60/1.7	0.9/0.92	0.62/1.7	1.00
Granada	0.6	0.56	0.5	0.44	0.5	0.44/0.56	1.00
Madrid	0.57	0.9	0.6	0.44	0.57/0.9	0.56/0.9	1.00
Sevilla	0.52/0.53	0.99	0.57/0.60	0.38/0.79	0.92/0.99	0.38	1.00
Toledo	0.6	0.56	0.5	0.44	0.5	0.44	1.00
Valencia	0.52/0.53	0.99	0.57/0.60	0.38/0.79	0.92/0.99	0.38	1.00
Vitoria	0.54/0.55	0.9	0.44	0.5/0.6	0.59	0.44	1.00
Zamora	0.54/0.55	0.59	0.5	0.44	0.59	0.44	1.00

Tabla 6.2: Coeficiente globales de transmisión de calor en elementos de huecos para las diferentes zonas climáticas de España.

Localidad	Coeficiente global de transferencia de calor			
	U [W/m^2K]			
	Cristal	Marco	Factor solar	% de marco
Almería	3.3	4.0	0.75	10
Barcelona	2.8	3.5	0.75	10
Bilbao	2.8	3.5	0.75	10
Burgos	1.8	2.2	0.7	10
Cádiz	3.3	4.0	0.75	10
Granada	2.8	3.5	0.75	10
Madrid	2.8	3.5	0.75	10
Sevilla	5.6/3.3	4.0	0.85/0.7	10
Toledo	2.8	3.5	0.75	10
Valencia	5.6/3.3	4.0	0.85/0.7	10
Vitoria	2.8	3.5	0.75	10
Zamora	2.8	3.5	0.75	10

por tanto, las potencias de los equipos en los dos casos son:

1ra consideración

Nº Edificio	Potencia caldera (<i>kW</i>)	Rendimiento (%)
1	16.43	90
3	6.735	90

2da consideración

Nº Edificio	Potencia caldera (<i>kW</i>)	Rendimiento (%)
1	8.134	90
3	3.2	90

6.2.2.3. Sistema multizona de calefacción con caldera de baja temperatura

1ra consideración

Nº Edificio	Potencia caldera (<i>kW</i>)	Rendimiento (%)
1	16.43	95
3	6.735	95

2da consideración

Nº Edificio	Potencia caldera (<i>kW</i>)	Rendimiento (%)
1	8.134	95
3	3.2	95

6.2.2.4. Sistema multizona de calefacción con caldera de condensación

1ra consideración

Nº Edificio	Potencia caldera (<i>kW</i>)	Rendimiento (%)
1	16.43	100
3	6.735	100

2da consideración

Nº Edificio	Potencia caldera (<i>kW</i>)	Rendimiento (%)
1	8.134	100
3	3.2	100

6.2.2.5. Sistema de rendimiento constante

1ra consideración

Nº Edificio	Rendimiento calefacción	Rendimiento refrigeración	Tipo de energía
1	0.9	2.5	GasNatural/Elec.
3	0.9	2.5	GasNatural/Elec.

2da consideración

Nº Edificio	Rendimiento calefacción	Rendimiento refrigeración	Tipo de energía
1	0.9	2.5	GasNatural/Elec.
3	0.9	2.5	GasNatural/Elec.

6.2.2.6. Sistema unizona por bomba de calor

Los valores utilizados de EER y COP es de 3 y 3.2 respectivamente.

1ra consideración

Nº Edificio	Pot. refrigeración (kW)	Pot. sensible refrigeración (kW)	Pot. eléctrica nominal consumida refriger. (kW)	Pot. calorífica nominal (kW)	Pot. eléctrica nominal consumida calef. (kW)
1	14.51	10.88	4.83	14.51	4.53
3	5.29	3.97	1.76	5.29	1.64

2da consideración

Nº Edificio	Pot. refrigeración (kW)	Pot. sensible refrigeración (kW)	Pot. eléctrica nominal consumida refriger. (kW)	Pot. calorífica nominal (kW)	Pot. eléctrica nominal consumida calef. (kW)
1	8.134	6.1	2.7	8.134	2.54
3	3.26	2.4	1.08	3.26	1.01

6.2.2.7. Sistema unizona por equipo de compresión solo frío (aire – aire) más caldera de baja temperatura

1ra consideración

Nº Edificio	Pot. refrigeración (kW)	Pot. sensible refrigeración (kW)	Pot. eléctrica nominal consumida refriger. (kW)
1	14.51	10.88	4.83
3	5.29	3.97	1.76

Nº Edificio	Potencia caldera (kW)	Rendimiento (%)
1	16.43	95
3	6.735	95

2da consideración

Nº Edificio	Pot. refrigeración (kW)	Pot. sensible refrigeración (kW)	Pot. eléctrica nominal consumida refig. (kW)
1	8.134	6.1	2.7
3	3.26	2.4	1.08

Nº Edificio	Potencia caldera (kW)	Rendimiento (%)
1	8.134	95
3	3.2	95

6.3. Resultados globales obtenidos

6.3.1. Demandas de calefacción y refrigeración

Con las gráficas mostradas a continuación se puede evidenciar el buen ajuste que se consigue con el método propuesto. En este caso se analizan las demandas de calefacción y refrigeración respecto al programa oficial de certificación (para todos los casos de estudio). Los coeficientes de correlación en cada uno de ellos son de: $R^2 = 0.9805$ y 0.9731 en calefacción y refrigeración respectivamente, representados en las figuras (6.2 y 6.3).

De las dos figuras presentadas se observa, en la demanda de refrigeración existe una leve desviación del ajuste realizado, sin embargo la demanda de calefacción se ajusta favorablemente.

6.3.2. Emisiones de $kgCO_2$ por metro cuadrado en edificios sin utilización de sistema alguno solo ACS

En la siguiente figura, se facilita la comparación de las emisiones de $kgCO_2$ por metro cuadrado entre el procedimiento propuesto y el programa oficial de certificación energética (para todos los casos de estudio). En ella se observa un muy buen ajuste, obteniendo un coeficiente de correlación igual a $R^2 = 0.970$, ver figura (6.4).

Desglosando por el tipo de vivienda los resultados son:

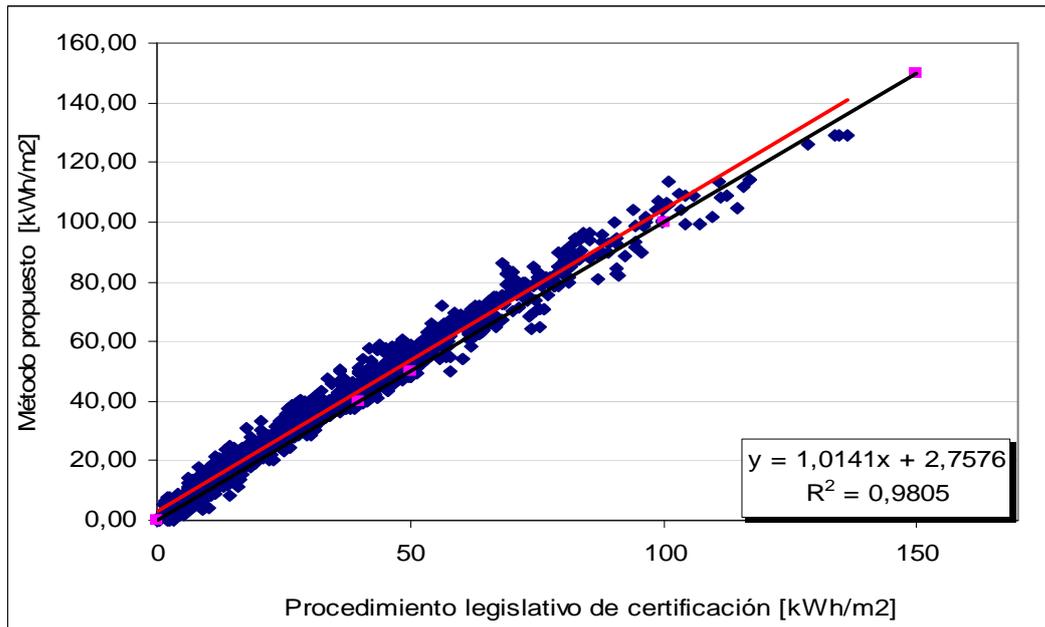


Figura 6.2: Ajuste de la demanda de calefacción. Método propuesto versus procedimiento legislativo de certificación (CALENER VYP).

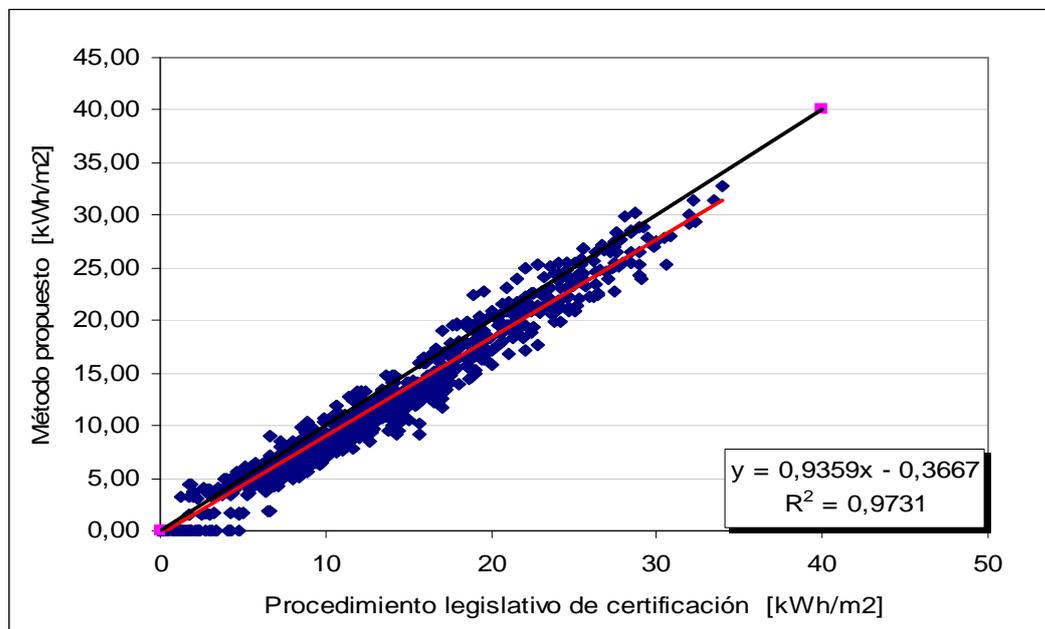


Figura 6.3: Ajuste de la demanda de refrigeración. Método propuesto versus procedimiento legislativo de certificación (CALENER VYP).

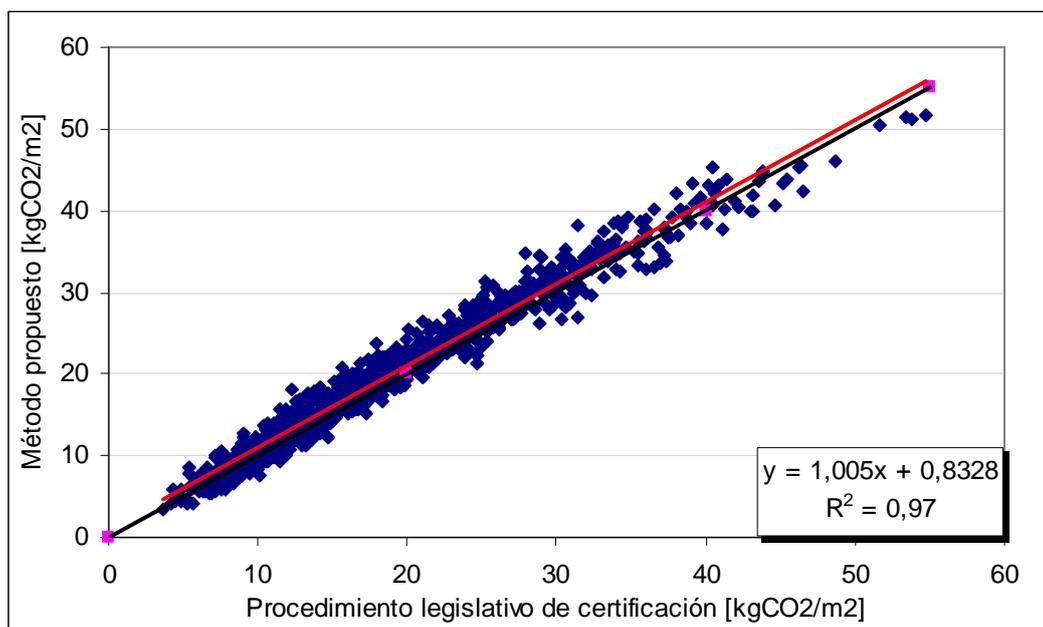


Figura 6.4: Comparativa de emisiones de $kgCO_2/m^2$ entre el método propuesto respecto al procedimiento legislativo de certificación (CALENER VYP). Solo en el edificios.

Emisiones de $kgCO_2$ por metro cuadrado para viviendas unifamiliares

La figura (6.5) enseñan el ajuste de las emisiones de $kgCO_2$ por metro cuadrado, entre el programa oficial y el método propuesto, en este caso solo para las viviendas unifamiliares, cuyo coeficiente de correlación es de $R^2 = 0.9669$.

Emisiones de $kgCO_2$ por metro cuadrado para viviendas en bloque

La figura (6.6) enseña el ajuste de las emisiones de $kgCO_2$ por metro cuadrado, entre el programa oficial y el método propuesto, en este caso solo para las viviendas en bloque, cuyo coeficiente de correlación es de $R^2 = 0.9741$.

De las comparaciones se concluye: tanto las viviendas unifamiliares y las viviendas en bloque el ajuste es muy parecido, del orden de 0.97.

6.3.3. Emisiones de $kgCO_2$ por metro en edificios, con sistemas diversos de climatización, más ACS

En el siguiente gráfico se facilita la comparación de resultados ($kgCO_2/m^2$) del procedimiento propuesto frente al programa oficial de certificación energética, se recuerda que para validar los sistemas diversos se utilizó los edificios oficiales de comparación U1 y U3, ver Anexos C. La comprobación se realizó en tres zonas

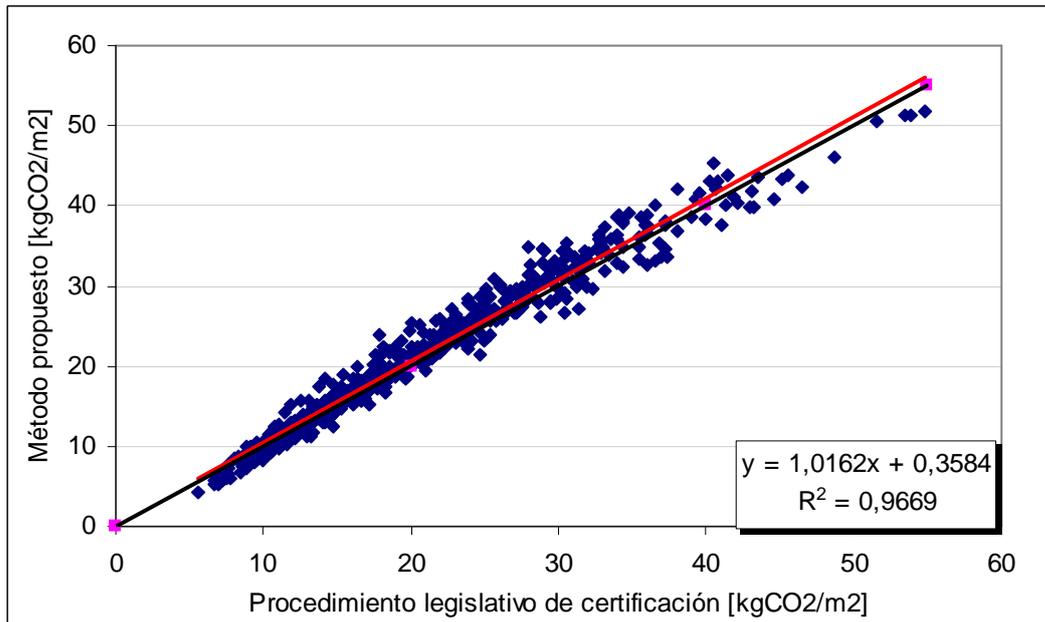


Figura 6.5: Comparativa de emisiones de kgCO_2/m^2 para viviendas unifamiliares. Método propuesto versus procedimiento legislativo de certificación (CALENER VYP).

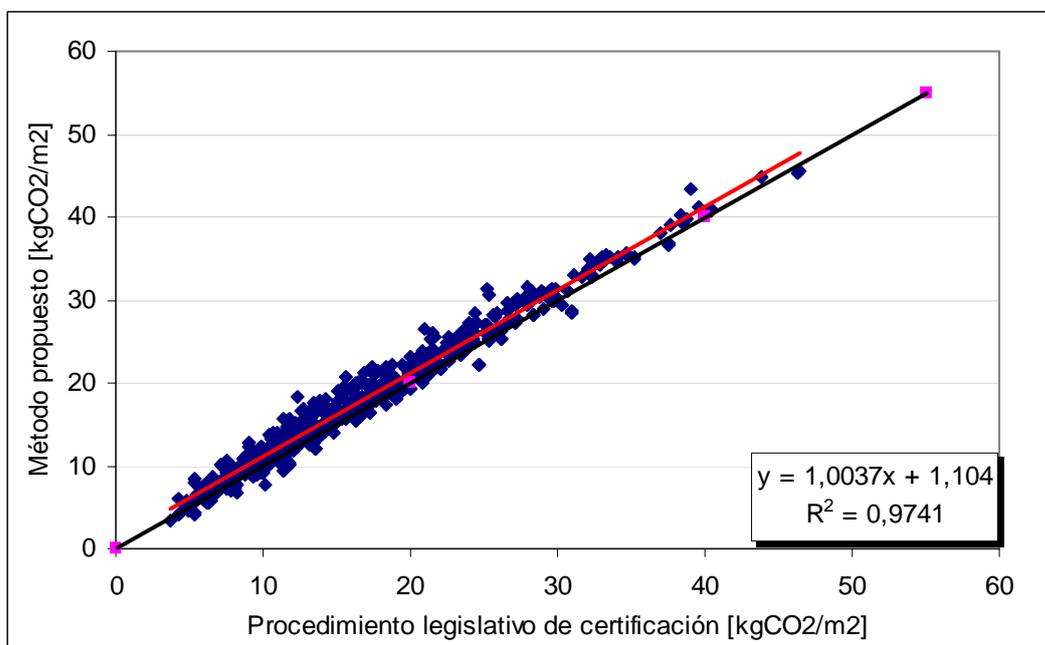


Figura 6.6: Comparativa de emisiones de kgCO_2/m^2 para viviendas en bloque. Método propuesto versus procedimiento legislativo de certificación (CALENER VYP).

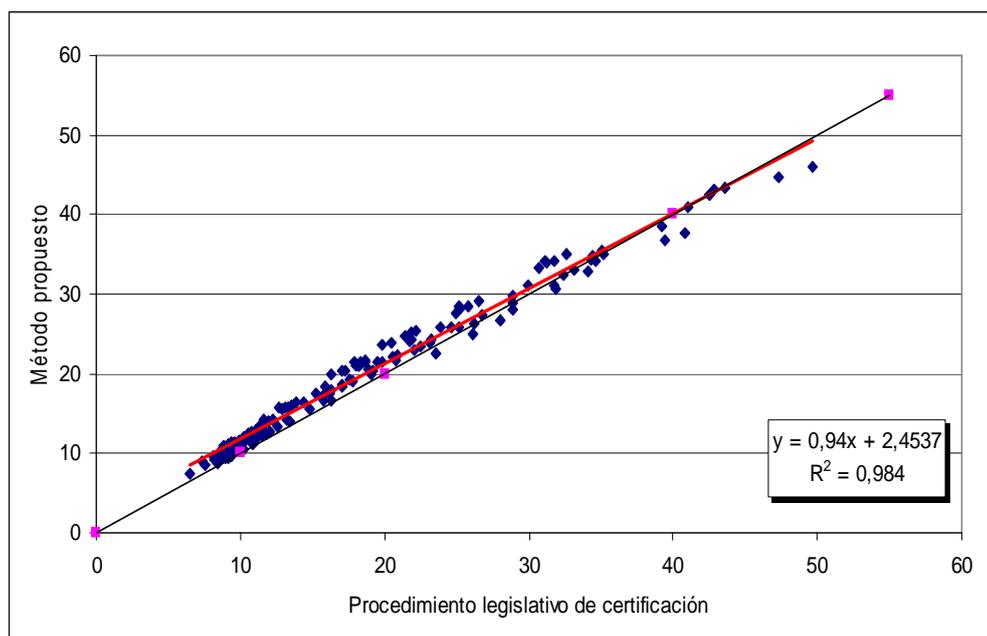


Figura 6.7: Comparativa de emisiones de $kgCO_2/m^2$ entre el método propuesto respecto al procedimiento legislativo de certificación. En el edificios más sistemas diversos (CALENER VYP).

climáticas de España en las ciudades de Madrid, Burgos y Sevilla.

En la figura (6.7) se observa un muy buen ajuste, consiguiendo un coeficiente de correlación de $R^2 = 0.9844$.

6.4. Discusión de los resultados

6.4.1. Análisis de demanda en CALENER VYP, EnergyPlus y el Programa propuesto

En la gráfica (6.8) se hace una comparación de las demandas horarias en calefacción y refrigeración en tres programas CALENER VYP, EnergyPlus y el programa propuesto. En un edificio en particular (vivienda unifamiliar U3 ver anexo C), simulación realizada en Madrid (zona climática D3).

Los resultados muestran que el programa CALENER VYP en la primera hora presenta un pico mayor a los otros dos programas (en calefacción y refrigeración), en la siguiente hora de cálculo ésta carga puntual decrece, luego casi permanece constante, éste comportamiento no se observa en los otros dos métodos. Evidentemente se tiene en la primera hora un pico máximo (valor máximo del programa propuesto similar al del programa EnergyPlus en calefacción, no obstante, en refrigeración el valor máximo del método propuesto tiene un valor intermedio entre los programas EnergyPlus y CALENER VYP) y en las horas siguientes de cálculo la demanda máxima va reduciendo de forma gradual. También se observa que los

valores de la demanda horaria en la parte final del día en los tres programas son similares (calefacción y refrigeración).

Se intuye que la inercia térmica en el programa CALENER VYP posee poca importancia (en una hora es bastante complicado calentar o enfriar los muros). En el programa propuesto la inercia de los cerramientos posee su respectiva importancia, es decir, de toda la cantidad de energía que se tiene dentro la zona térmica, parte de esa ganancia es convectiva e inmediatamente se entrega al aire (ganancia convertida en carga), por otra parte, la ganancia radiante incidirá sobre suelo, muebles o los mismos muro (de esa manera se contabiliza la inercia térmica de los cerramientos y componentes), en la misma hora y horas posteriores con los pesos del método de *RTS* se la entrega al aire de forma gradual. Esta distribución hace que el método al realizar los cálculos no presente un pico similar al programa legislativo. Sin embargo, si la comparación lo realizamos con el programa EnergyPlus (programa utilizado en la simulación térmica de edificios, cuyo método de cálculo es más riguroso, este programa utiliza en el cálculo el método del balance de energía, determina los factores de forma entre cada una de las superficies que intervienen en el recinto y esto lo hace más preciso al determinar las ganancias y cargas de la zona), los resultados de las dos gráficas analizadas por comparación poseen un mismo comportamiento, es decir, la demanda de energía en las siguientes horas (horas después del pico máximo) decrece de forma gradual.

Acotación: el programa EnergyPlus como se dijo anteriormente es utilizado para la simulación térmica de edificios y no es una herramienta diseñada para la certificación energética. Para utilizar como herramienta de certificación, se tendría que transponer a su método de cálculo la normativa española, los coeficientes de paso y el método de calificación energética. Un proceso similar se hizo con el programa DOE-2 y como resultado se obtuvo el programa CALENER GT, proceso que tardó muchos años de trabajo.

La integral de la demanda de refrigeración y calefacción es la siguiente:

Área del edificio (m^2)	CALENER VYP		Programa Propuesto		EnergyPlus	
	Calef. (kWh/m^2)	Refrig. (kWh/m^2)	Calef. (kWh/m^2)	Refrig. (kWh/m^2)	Calef. (kWh/m^2)	Refrig. (kWh/m^2)
67.4	89.6	9.3	85.3	7.3	81.1	7.18

Se observa que el programa oficial, demanda más energía que los otros dos programas. Comparando el programa propuesto con el EnergyPlus, la desviación en calefacción es del 5%, y en refrigeración del 1.6% (por arriba). En conclusión la integral de refrigeración y calefacción de los tres programas son bastante parecidos, es decir, de similar orden de magnitud.

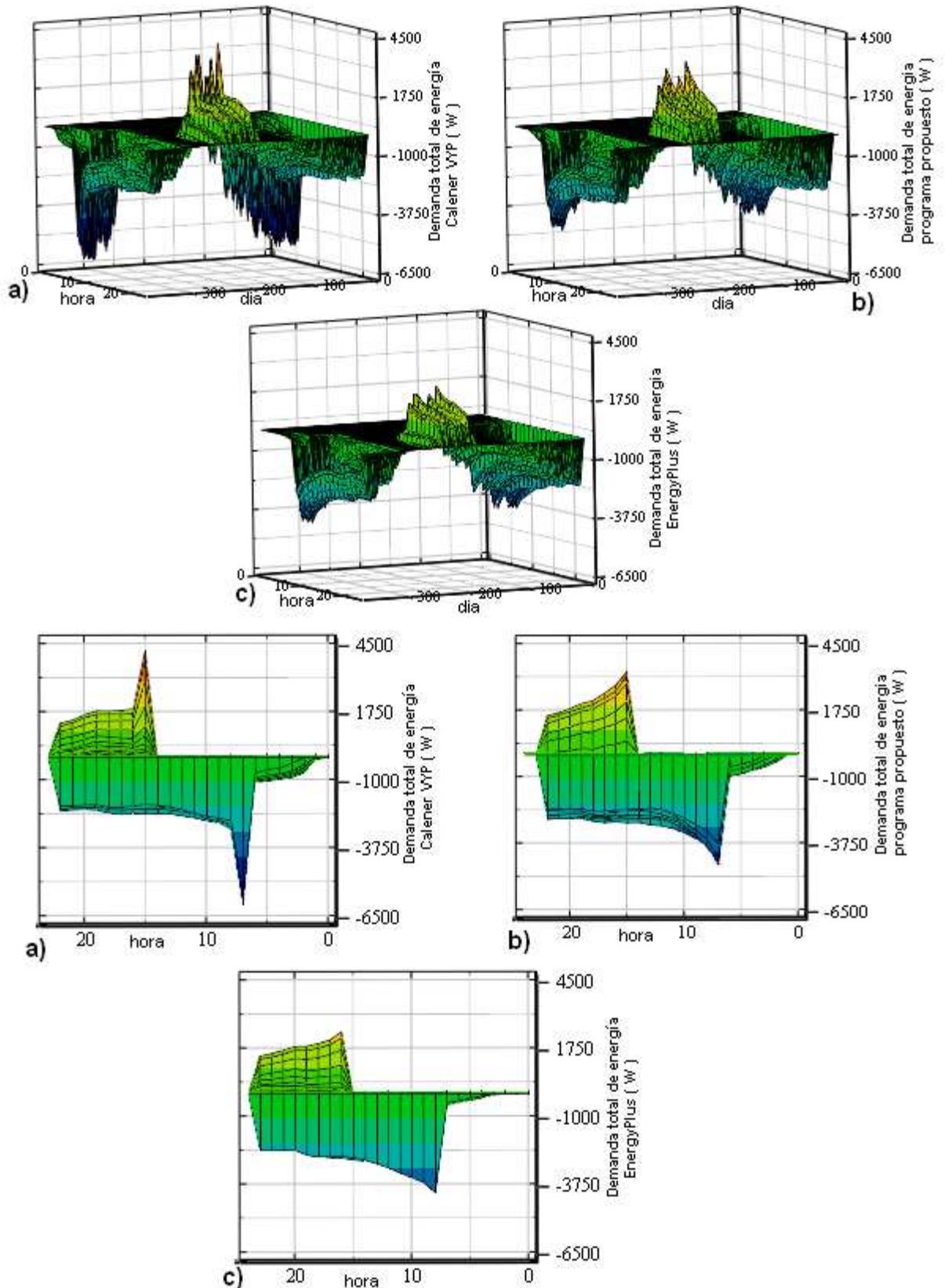


Figura 6.8: Demandas de calefacción y refrigeración horaria de un edificio en particular. Valores positivos demanda horaria de refrigeración, valores negativos demanda horaria de calefacción. a) en el programa oficial de certificación (CALENER VYP) b) en el método propuesto de certificación c) EnergyPlus.

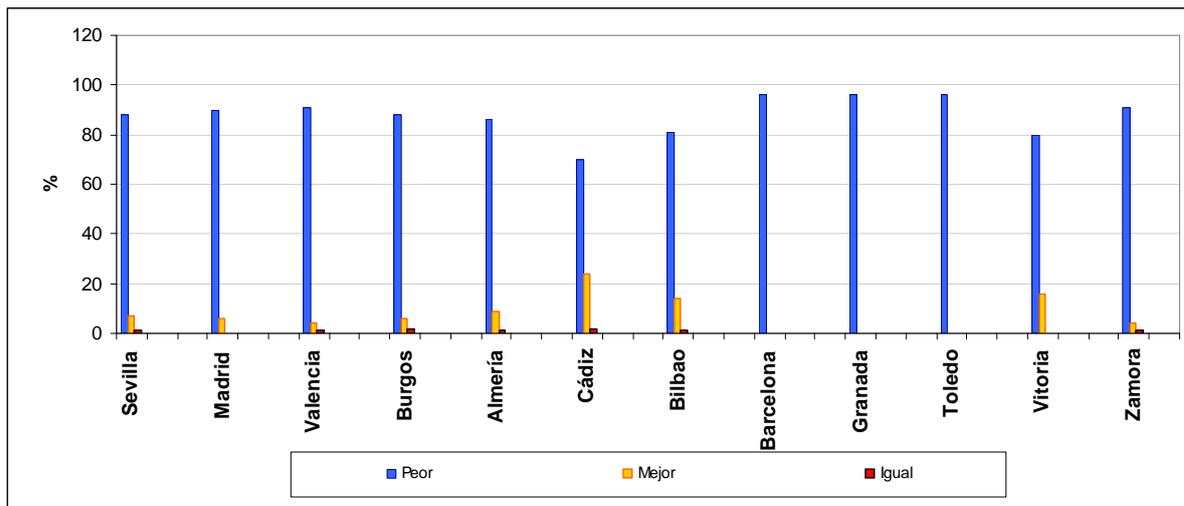


Figura 6.9: Análisis cuantitativo del valor de la etiqueta energética en referencia al programa oficial de certificación energética de España para las diferentes zonas climáticas.

6.4.2. Análisis de dispersión de la etiqueta energética

Del análisis cuantitativo al valor numérico de certificación energética para todos los casos analizados, en el 91.4 % la calificación energética es peor (se entiende por peor o conservador al mayor valor numérico que da el programa propuesto en referencia al CALENER VYP), el 7.81 % es mejor y el 0.78 % es igual al valor que se obtiene con el programa oficial de certificación energética. En la figura (6.9), se muestra en forma detallada para cada una de las zonas climáticas del análisis anterior.

En la figura (6.10) se analiza cualitativamente el comportamiento de la letra de certificación energética. En el 82.21 % de los casos la letra de certificación es igual, en el 17.01 % proporciona peor letra de certificación y solo el 0.78 % la calificación será mejor (lo cual está dentro el margen impuesto por la legislación para programas alternativos de certificación energética), todo ello respecto al programa oficial de certificación energética de España, por lo que se concluye que el método propuesto es conservador (es decir dará la misma letra pero el valor numérico estará por debajo, con un margen de seguridad del 5 %, así como se puede apreciar en todos los casos analizados).

6.5. Comparación con datos reales

En este apartado se comparan los resultados de mediciones reales de consumo de energía en calefacción y ACS del edificio Bermeo (descripción realizada en el capítulo 2) con los resultados del modelo propuesto y los que se obtienen con el programa oficial de certificación. Los valores reales se obtuvieron del personal que lleva la gestión y mantenimiento de la instalación del edificio. Valores que corresponden al consumo de agua caliente sanitaria, la energía para calefacción y

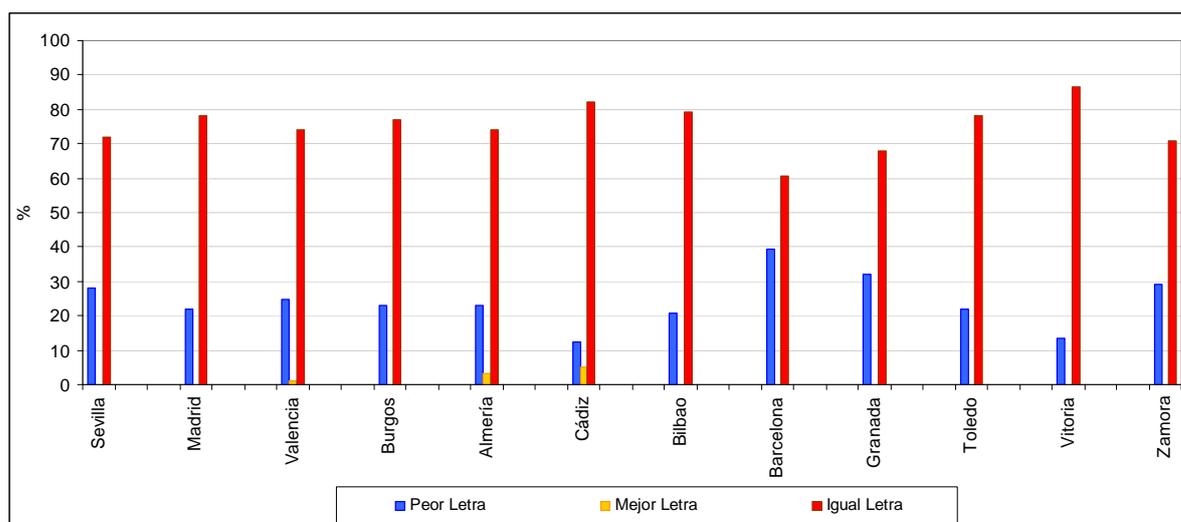


Figura 6.10: Análisis cualitativo de la etiqueta energética en referencia al programa oficial de certificación energética de España en las diferentes zonas climáticas.

Tabla 6.3: Resumen comparativo de datos estimados y reales del edificio Bermeo.

Energía final ($kWh/m^2_{\text{útil}}$)	Demanda energética		
	CALENER VYP	Programa propuesto	Real
Calefacción	51.8	43.2	-
ACS Neta	7.4	5.2	-
Total	59.2	48.4	66.9

($kgCO_2/m^2_{\text{útil}}$)	Emisiones de CO_2		
	CALENER VYP	Programa propuesto	Real
Calefacción	10.6	9.6	
ACS Neta	1.5	1.1	
Total	12.1	9.9	13.65

de consumo de gas, obteniendo como resultados los valores comparativos de los diferentes métodos mostrados en la tabla (6.3).

Analizando los datos del edificio Bermeo y como primera conclusión se tiene: la toma de medidas reales de los edificios no es directamente comparable con los valores proporcionados por los programas de simulación. Por lo expuesto en la tabla (6.3) y en el supuesto de que en este edificio se disponga de un contador de energía térmica por vivienda, se puede ver como la demanda estimada por todos los programas es muy inferior a los valores registrados por los contadores.

La desviación de resultados fundamentalmente se pueden deber a la ocupación que se estima en los edificios simulado. Es decir, los ratios de ocupación, el uso de los horarios y carga de ocupación (ver Anexo B), en la realidad los edificios no se comportan de esa manera. En este edificio se observa, como la demanda

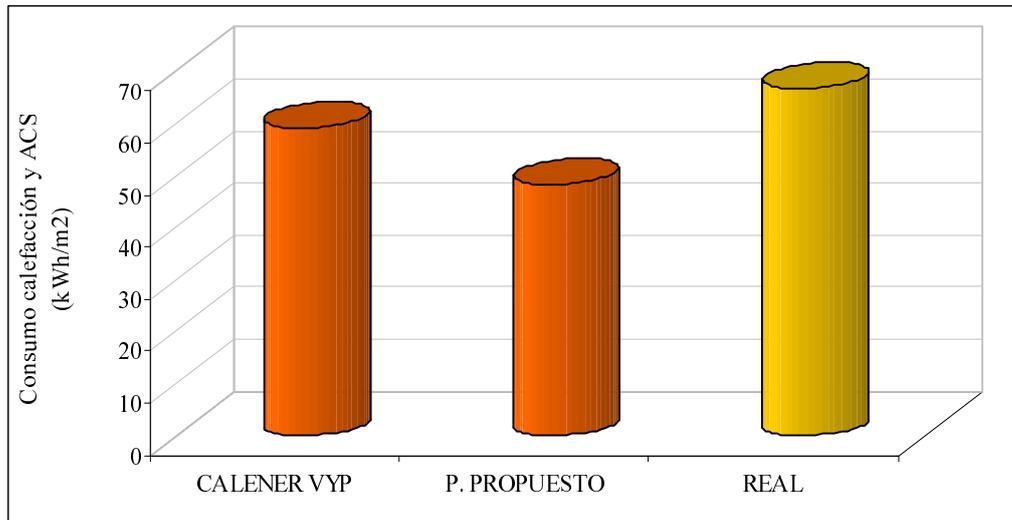


Figura 6.11: Comparativa del consumo de energía de calefacción, entre los datos estimados y los reales del edificio Bermeo.

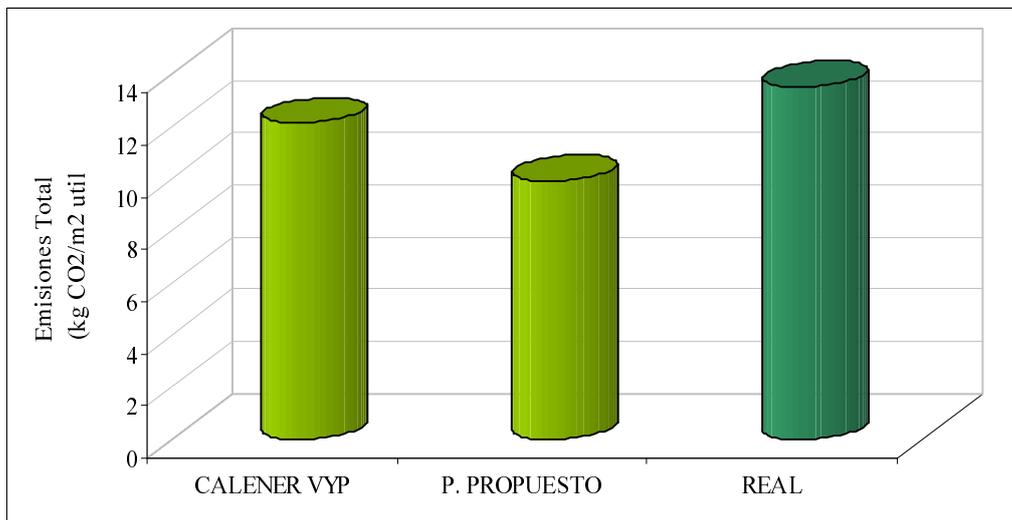


Figura 6.12: Emisiones totales de $kgCO_2/m^2$, datos estimados y reales del edificio Bermeo.

de calefacción es mayor que los programas de simulación, ver tabla (6.3). Otros posibles causantes para provocar esa desviación es la cantidad de renovaciones hora que consideran los programas de simulación, siendo muy diferentes a los que se considera en la realidad. Finalmente las infiltraciones debidas a carpintería, puertas y ventanas hacen que los edificios no sean completamente estancos y requieran más necesidades de energía.

En cuanto a la comparativa de consumo de energía final de los sistemas y por tanto las emisiones de dióxido de carbono emitida se debe de hacer de forma total (calefacción + ACS), pues aunque existe contador de energía térmica para el servicio de ACS y también existe energía solar, no se sabe cuánta de esta ha sido destinada para el calentamiento de agua caliente sanitaria en cada momento. Por tanto analizando el consumo de energía total real se observa que es superior al valor simulado por los programas CALENER VYP y el programa propuesto. Ver figuras (6.11 y 6.12).

6.5.1. Influencia del peso de los muros y la ubicación del aislante en la calificación energética

A continuación se observa la influencia de la inercia térmica de los cerramientos dentro el proceso de simulación, estudio que se hizo en un trabajo previo DEA E. Lamas (2009) ref. [51]. Para ello se realizaron simulaciones de una vivienda unifamiliar en las distintas zonas climáticas de España con diferentes inercias de muros es decir:

Inercia (kg/m^2)	
Ligero	200
Medio	283.6
Pesado	494

las descripción de los mismos son los siguientes:

Composición del muro ligero

Nº	Material	Espesor	Conductividad	Densidad	CP	Resis. Térmica
1	1/2 pie LP métrico catalán 80mm<G100mm	0.115	0.512	900	1000	
2	Mortero de cemento o cal para albañilería	0.009	0.550	1125	1000	
3	EPS poliestireno expandido [0.037W/mK]	0.033	0.038	30	1000	
4	Cámara de aire sin ventilar vertical 5cm					0.18
5	Tabicón de LH doble [60mm<E<90mm]	0.0810	0.432	930	1000	
6	Enlucido de yeso 1000<d<1300	0.009	0.570	1150	1000	

Composición del muro medio

Nº	Material	Espesor	Conductividad	Densidad	CP	Resis. Térmica
1	1/2 pie LP métrico catalán 80mm<G100mm	0.115	0.512	900	1000	
2	Mortero de cemento o cal para albañilería	0.089	0.550	1125	1000	
3	EPS poliestireno expandido [0.037W/mK]	0.029	0.038	30	1000	
4	Cámara de aire sin ventilar vertical 5cm					0.18
5	Tabicón de LH doble [60mm<E<90mm]	0.060	0.432	930	1000	
6	Enlucido de yeso 1000<d<1300	0.02	0.570	1150	1000	

Composición del muro pesado

Nº	Material	Espesor	Conductividad	Densidad	CP	Resis. Térmica
1	1/2 pie LP métrico catalán 80mm<G100mm	0.115	0.512	900	1000	
2	Mortero de cemento o cal para albañilería	0.2770	0.550	1125	1000	
3	EPS poliestireno expandido [0.037W/mK]	0.0160	0.038	30	1000	
4	Cámara de aire sin ventilar vertical 5cm					0.18
5	Tabicón de LH doble [60mm<E<90mm]	0.060	0.432	930	1000	
6	Enlucido de yeso 1000<d<1300	0.020	0.570	1150	1000	

El coeficiente global de transferencia de calor en todos los casos permanece constante $U=0.6W/m^2K$.

La vivienda unifamiliar a utilizar en este caso corresponde a una de las viviendas oficiales de comparación, la geometría se muestra en la figura (6.13).

Se sigue el siguiente proceso: en el edificio mostrado se intercambia los pesos, ligero, medio y pesado en las diferentes zonas climáticas de España, se hace el estudio para el edificio completo (muros, techos, suelo y ventanas), edificio sin ventanas, es decir, solo cerramientos (edificio que solo consideramos los muros, suelo y techo), el estudio en primera instancia se realiza utilizando el equipo que trae por defecto el programa CALENER VYP (calefacción gasoleo-C $\eta=0.75$ y refrigeración electricidad EER 1.7). También se analiza cuando se incluye equipos de climatización (bomba de calor), estudio realizado para las diferentes zonas climáticas; además se hace el análisis para 0.5 y 1 renovación hora. La simulación y resultados se realizan con el procedimiento oficial de certificación energética CALENER VYP.

Los resultados en todos los casos mencionados se muestran en las gráficas (6.14 y 6.15).

El equipo de climatización utilizado es un bomba de calor, para las potencias asumimos $150W/m^2$ de superficie y las áreas menos predominantes las desechamos. La potencia total de la bomba de calor en refrigeración y calefacción de $11.88kW$, los resultados de la comparativa de las diferentes inercias con equipos se muestra en la figura (6.16).

En el muro de peso medio, el aislante se ubica en diferentes posiciones, es decir, en la parte media, al exterior o en el interior del muro, con ello se desea

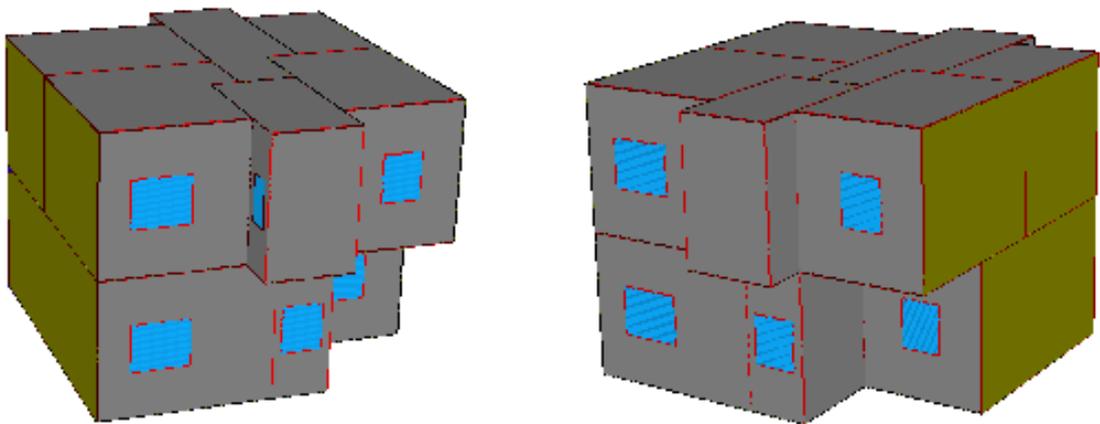
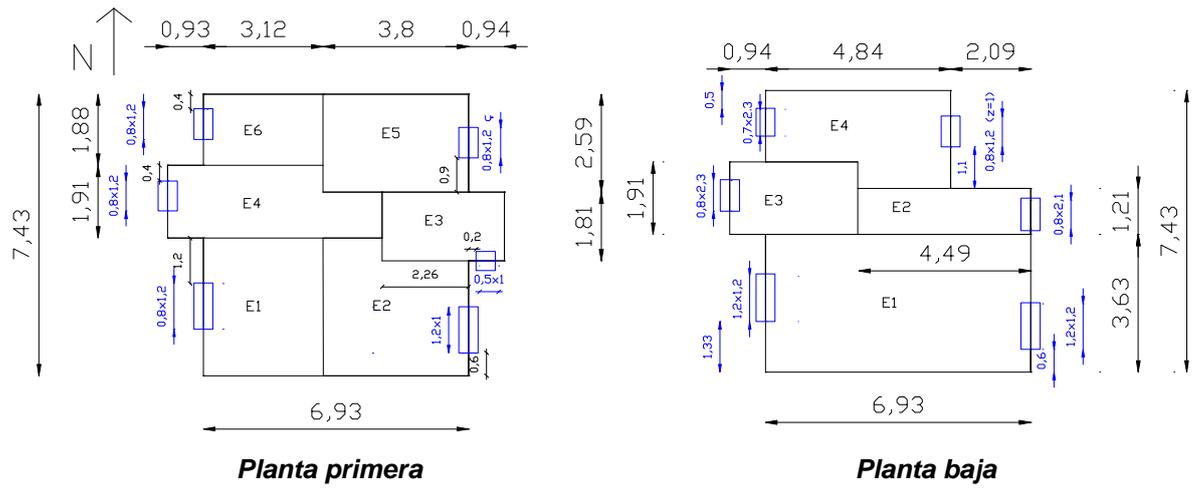


Figura 6.13: Datos geométricos de la vivienda unifamiliar “U2”.

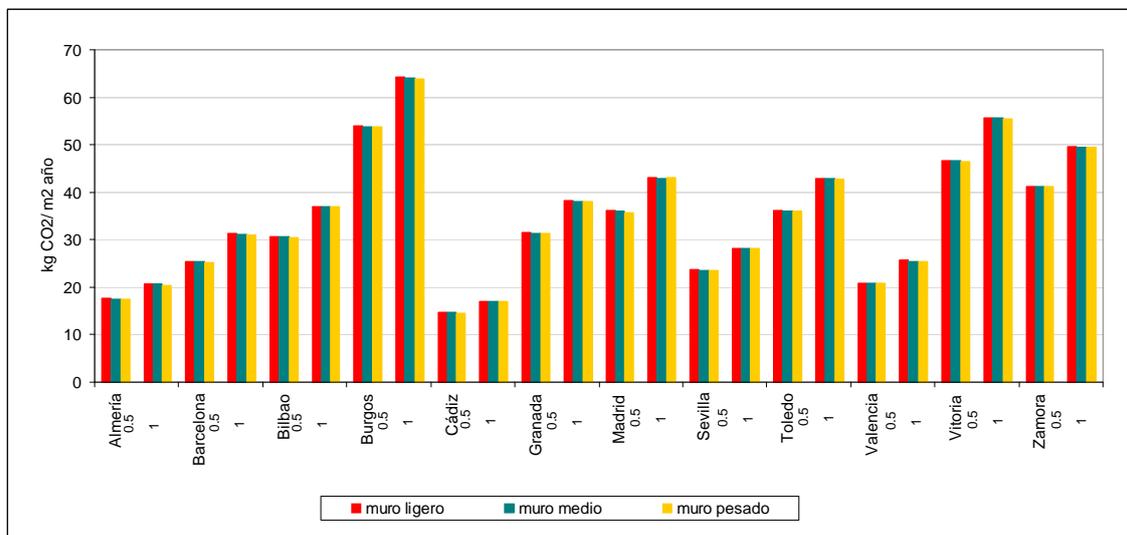


Figura 6.14: Emisiones de $kg CO_2/m^2$, cuando se cambia la inercia del muro. Edificio con ventanas, para 0.5 y 1 renovaciones hora.

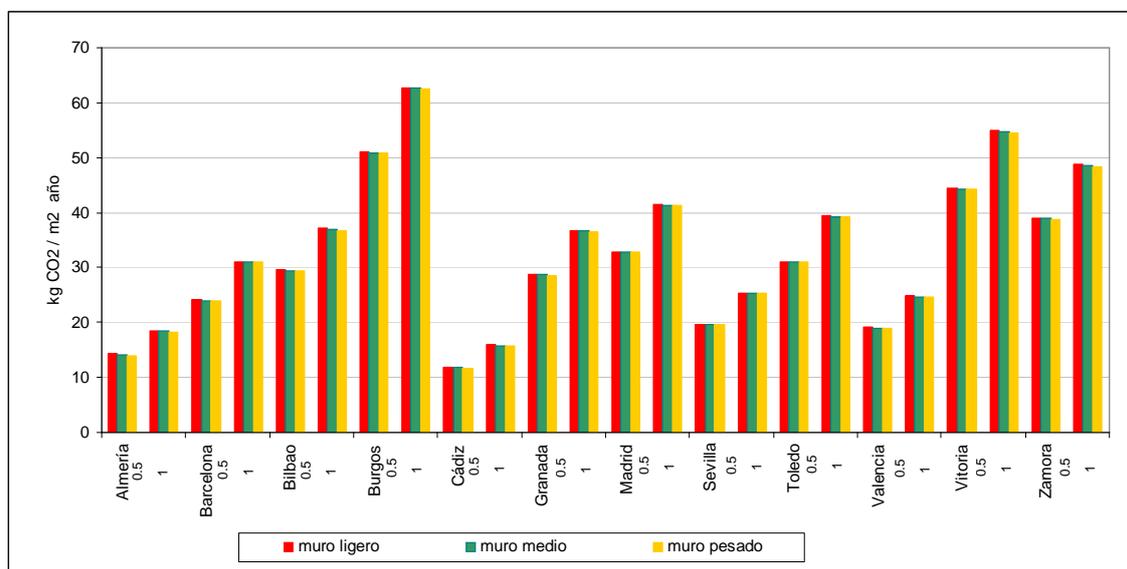


Figura 6.15: Emisiones de $kg CO_2/m^2$, cuando se cambia la inercia del muro. Edificio con ventanas, para 0.5 y 1 renovación hora.

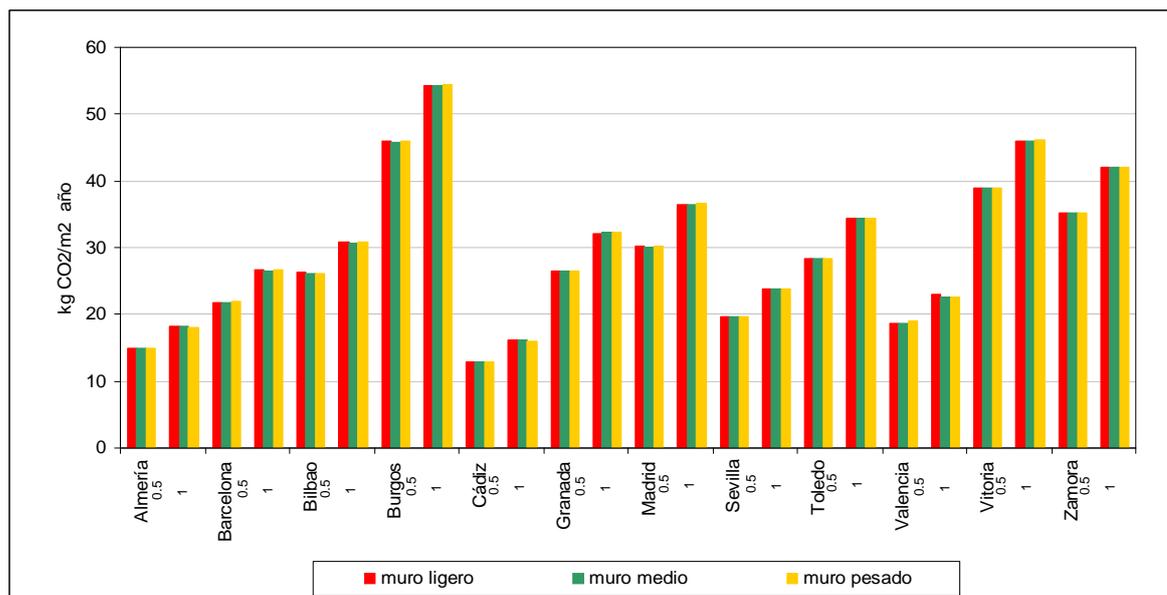


Figura 6.16: Emisiones de $kg\ CO_2/m^2$, cuando se cambia la inercia del muro. Edificio con ventanas más equipo de climatización bomba de calor, para 0.5 y 1 renovación hora.

responder la siguiente pregunta ¿Qué influencia tiene la ubicación del aislante en el programa oficial de certificación energética? La figura (6.17), responde a la cuestión realizada.

Del estudio de los diferentes tipos de inercia y la ubicación del aislante se concluye:

- La variación de la inercia, referente a la cantidad total de demanda energética del edificio tiene poca importancia (entre valores normales) de sus componentes.
 - Sí tiene importancia respecto a los “picos” de potencia, pero no en cuanto al consumo final de energía.
 - Únicamente es importante cuando la temperatura del ambiente exterior fluctúa sobre la temperatura interior, pero las diferencias encontradas son escasas.
 - Al verificar los resultados del procedimiento oficial CALENER VYP, considerando cerramientos pesados, medios o ligeros se llega a la conclusión: sí se considera la inercia de los cerramientos, pero no repercute en la certificación energética. La diferencia máxima en los resultados es del orden del 2 %.
- La ubicación del aislante en el muro de cara a la certificación energética, varía en nada (del orden del 1 %) al ubicar ya sea al medio, al exterior o al interior del muro, en todas las zonas climáticas de España.

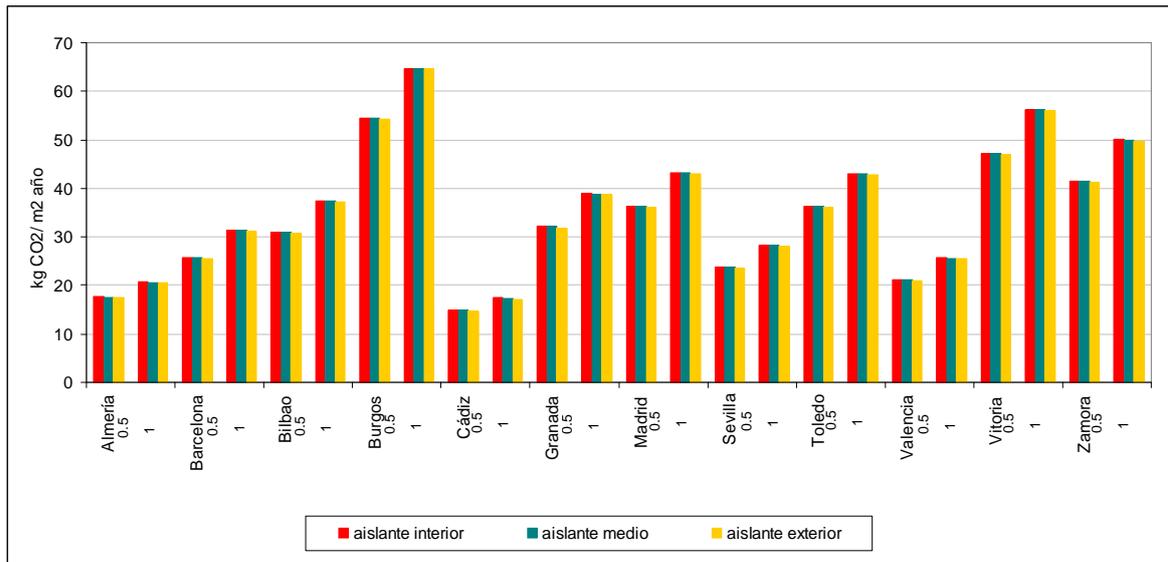


Figura 6.17: Emisiones de $kg CO_2/m^2$, al variar la ubicación del aislante (posición media, en el interior, en el exterior), para 0.5 y 1 renovación hora.

6.6. Conclusiones

Del proceso de validación se llega a las siguientes conclusiones:

- El procedimiento de certificación propuesto se ajusta favorablemente al procedimiento oficial de certificación, en las demandas de refrigeración, calefacción como en las emisiones de $kgCO_2/m^2$ fósil.
- La demanda horaria de refrigeración presenta mayor dispersión que la demanda de calefacción. Más notoria en bloque de viviendas que en las viviendas unifamiliares.
- Después de analizar la demanda horaria de calefacción y refrigeración en los tres programas (EnergyPlus, CALENER VYP y programa propuesto) se concluye:
 - Al comparar las gráficas de la demanda horaria de calefacción, se observa una semejanza entre los programas EnergyPlus y el programa propuesto, sin embargo, los valores del programa planteado son mayores para el caso de refrigeración.
 - El programa oficial de certificación CALENER VYP muestra un pico más grande de potencia en ciertos momentos del día, valores diferentes que los otros dos programas comparados.

- La integral del programa propuesto y los resultados del programa EnergyPlus en la vivienda simulada son muy parecida, existiendo una desviación máxima del orden del 5 % en calefacción y 1.6 % en refrigeración.
 - Las desviaciones de la demanda total anual de energía del programa propuesto respecto al CALENER VYP son 5 y 21 % en calefacción y refrigeración respectivamente.
-
- El programa propuesto es conservador en relación al CALENER VYP. La administración para hacer documento oficial a los programas alternativos de certificación, impone, que la calificación energética no debe ser mayor al 1 % de todos los casos comparados con el programa oficial de certificación. El programa propuesto cumple con la mencionada restricción.
 - Los programas de simulación son orientativos al comportamiento real de un edificio. En el edificio Bermeo se observó que los datos reales de emisiones totales de CO_2 es mayor a los determinados por los programas de simulación; se debe principalmente al diferente uso de la ocupación, ventilación en el edificio real. Sin embargo, los resultados son de magnitudes parecidas (no están fuera de la realidad).
 - El peso medio utilizado en los diferentes tipos de cerramiento del edificio en este estudio, está respaldado por el análisis realizado en este capítulo.
Se muestra claramente que no repercute en la certificación energética el tener un cerramiento con peso ligero, medio o pesado. (Si repercutiría en la máxima transferencia de calor, es decir en el dimensionamiento de instalaciones, pero no, en la estimación de la energía total transferida en un año, que será la demanda de energía).
 - La ubicación del aislante en el cerramiento no tiene influencia en la certificación energética, esto se ha verificado ubicando el aislante en la parte interior, media y exterior del cerramiento al ejecutar el programa oficial de certificación.

Capítulo 7

Uso de renovables en sistemas no convencionales

Dado que la calificación energética es por motivos medioambientales, surge la cuestión sobre la potencialidad de usar sistemas que funcionen con energías renovables como la energía solar para proveer servicios de: calefacción, refrigeración y agua caliente sanitaria.

En los dos siguientes capítulos se describirá el uso de energías renovables, como sistemas de acondicionamiento en las viviendas residenciales, (producción de refrigeración más calefacción solar). En principio se describirá la conexión captadores solares a una máquina de absorción para producción de frío, pasando por parametrizar correctamente ambos sistemas. En una segunda parte se incorpora al método de certificación propuesto el modelo desarrollado en este capítulo, con la finalidad evaluar las bondades que este sistema ofrece respecto al sistema convencional.

7.1. Introducción

Las máquinas de absorción están pensadas como sistemas que permiten la conversión de energía en forma de calor entre diferentes niveles térmicos y por esta razón ayudan a aumentar la eficiencia energética y el aprovechamiento de energías residuales, renovables o simplemente más limpias.

El sistema de captación solar se supone directamente acoplado a la máquina de absorción de simple efecto LiBr-H₂O, sin contar con acumulación intermedia. Se obtiene la ecuación que modeliza el acople y se estudia la capacidad de producción total de frío y su distribución temporal en un año tipo para las diferentes zonas climáticas de España. El servicio de aire acondicionado se ha estudiado a dos niveles de temperatura: de 5^oC y a 14^oC. El primero correspondería al uso de fan-coils y el segundo al uso de suelos o techos fríos como elementos terminales.

A primera vista puede parecer sorprendente que no se ha incluido en la tesis ningún tipo de control sobre la potencia de refrigeración en la máquina de absorción o en el sistema de refrigeración solar en su conjunto. Existen maneras

de implementar un sistema de refrigeración solar con un comportamiento parecido a la idea de acoplamiento directo que se muestra en la tesis (por ejemplo, utilizando como base el sistema de refrigeración solar y un sistema convencional de refrigeración como apoyo al primero, ambos conectados en serie y con diferente control de temperatura de servicio en ambos sistemas). Sin embargo, no se ha incluido en el estudio de la tesis y será una de las sugerencias para futuros estudios.

El modelo que se presenta es estático. El modelo de los captadores es la conocida ecuación lineal algebraica y el planteamiento matemático de la máquina sigue la formulación presentada por Ziegler [28, 27], conocida como ecuación característica. Se han usado formulación sencilla para ilustrar el método, no obstante de forma análoga se podrían usar ecuaciones más complejas de ambos elementos. Sin embargo, la idea principal es mostrar los efectos fundamentales del acople entre ambos sistemas.

La ecuación característica de Ziegler [28], no está basado en su origen en una formulación física completa y coherente, es más bien una formulación basada en un balance de energía local en los elementos de la máquina: evaporador, condensador, absorbedor y generador y en el mapa de equilibrio de la solución de LiBr-H₂O. El planteamiento se debe completar con resultados experimentales, los cuales sirven para fijar unos valores razonables de los parámetros de ajuste del modelo.

Por ello se expone, adicionalmente, un diseño óptimo de un ciclo simple ver Tesis Doctoral V. Soto [52] basado en un modelo físico endorreversible de Tozer [31]. Este modelo sí tiene sentido físico completo ya que usa la 1^a y la 2^a ley de la termodinámica y se aplica a la ecuación característica de Ziegler con el objetivo de obtener una referencia sobre el valor de los parámetros de ajuste.

Así, en base a ambas formulaciones, el de los captadores solares y el de la máquina, se deduce una ecuación que reproduce el comportamiento del sistema acoplado e implica a los parámetros de diseño de ambos.

Finalmente, a modo de ejemplo y con el objetivo de proporcionar valores útiles para los diseñadores de este tipo de sistemas, se muestra una serie de tablas con la capacidad total de producción de frío en diferentes climas de España en función de ciertos parámetros de diseño. Los datos meteorológicos utilizados son valores horarios de un año juliano, que son empleados en los programas oficiales de certificación energéticas de edificio en España (programas LIDER y CALENER), valores que se encuentra en la referencia . En el próximo capítulo se describirá la aplicación de los resultados de este capítulo.

7.2. Modelo matemático

7.2.1. Planteamiento

La potencia de un campo de captadores solares, de un cierto tipo (de vacío, con recubrimiento selectivo, con recubrimiento estándar, cilindro parabólicos), depende básicamente de la intensidad de la radiación , de la temperatura ambiente

(t_{amb}) y de la temperatura media del agua caliente producida, que en este caso se hará coincidir con la temperatura media del generador (t_g). Si se mantienen todos los valores constantes salvo t_g , resulta que a mayor valor de t_g menor será la potencia de captación solar. Por otro lado, en una máquina de absorción cuyas temperaturas medias de las corrientes externas de evaporador, condensador y absorbedor se mantienen fijas, cuanto mayor sea la temperatura del generador mayor será la capacidad de producción de frío y por lo tanto mayor la necesidad de potencia en el generador. Por lo tanto para una superficie de captadores y para un tamaño de máquina debe existir una temperatura t_g^{eq} de equilibrio que haga que la potencia recogida en los captadores a esa t_g^{eq} sea igual que la potencia necesaria en el generador de la máquina.

Además, hay que señalar que las máquinas necesitan una temperatura mínima del generador t_g^{eq} mínima para iniciar el enfriamiento. Es posible, entonces, que si la relación (área de campo solar / tamaño de la máquina) no fuera suficiente, la t_g^{eq} estén por debajo de este mínimo, por lo que el acoplamiento directo no será posibles entre el área de captadores y la máquina de absorción.

En lo que sigue se van a exponer las ecuaciones de los captadores solares y de la máquina de absorción y se deducirá la ecuación para calcular t_g^{eq} .

7.2.2. Modelo de los captadores solares

El modelo del rendimiento (η) de los captadores solares sigue la conocida ecuación algebraica:

$$\eta(t_g, t_{amb}, I) = FR_{\tau\alpha} - FRU_L \cdot \left(\frac{t_g - t_{amb}}{I} \right) \quad (7.1)$$

Las variables fundamentales que definen la ecuación (7.1) representan:

- La pérdida térmicas por metro cuadrado FRU_L , es función de la diferencia de temperaturas entre la radiación solar.
- Y $FR_{\tau\alpha}$ que viene a ser el factor óptico de los captadores, valores que dependen del tipo de captadores a considerar. ²

Para este trabajo se consideran captadores cuyos valores nos proporcionan un máximo rendimiento que se puede obtener en un colector, sus valores son: $FR_{\tau\alpha} = 0.825$, $FRU_L = 1.1 W/m^2 K$, que corresponden a captadores de vacío.

Por lo tanto para una superficie de captadores $A_{col}(m^2)$ la potencia del campo de captadores viene dada por la ecuación:

$$\dot{Q}_{col} = A_{Col} \cdot I \cdot \eta(t_g, t_{amb}, I) \quad (7.2)$$

donde, I es la radiación incidente sobre el plano de los captadores.

7.2.3. Ecuación característica formulada por Ziegler para la máquina de absorción de simple efecto

La deducción de la ecuación característica de Ziegler se puede encontrar en las referencias [26] y en [37]. En este trabajo se adjunta y facilita para ser más elocuentes en la formulación matemática.

El siguiente conjunto de ecuaciones sirve para la formulación del intercambio de calor en cada parte de la máquina. Los valores de UA están asociados a la tecnología empleada y contienen implícitamente la capacidad de transferencia de masa en el absorbedor y el generador, ver referencia [25].

$$Q_e = UA_e \cdot z_e \cdot (t_e - T_e) \quad (7.3)$$

$$Q_c = UA_c \cdot z_c \cdot (T_c - t_c) \quad (7.4)$$

$$Q_a = UA_a \cdot z_a \cdot (T_a - t_a) \quad (7.5)$$

$$Q_g = UA_g \cdot z_g \cdot (t_g - T_g) \quad (7.6)$$

donde:

t temperaturas medias externas.

T temperaturas medias internas.

z es un factor corrector en el intercambio de calor de los diferentes componentes (evaporador, condensador, absorbedor y generador).

La regla de Dühring's para el campo de la disolución acuosa de bromuro de litio se modeliza según las ecuaciones lineales siguientes. B_o y B son unas constantes que dependen de la concentración de sal $\{x\}$.

$$T_a = B_o(x_a) + B(x_a)T_e \quad (7.7)$$

$$T_g = B_o(x_g) + B(x_g)T_c \quad (7.8)$$

Restando ambas ecuaciones se obtiene:

$$T_g - T_a = B \cdot (T_c - T_e) \quad (7.9)$$

El valor de B en la práctica no cambia demasiado para el rango de concentración en la máquina de absorción. Un valor aproximado de B es 1.15 (ver referencia [26]).

Al combinar las ecuaciones (7.3-7.6) en (7.9), se determina la relación de temperaturas externas

$$\frac{Q_g}{UA_g \cdot z_g} + \frac{Q_a}{UA_a \cdot z_a} + B \cdot \left(\frac{Q_c}{UA_c \cdot z_c} + \frac{Q_e}{UA_e \cdot z_e} \right) = \Delta\Delta t \quad (7.10)$$

donde:

$$\Delta\Delta t = t_g - t_a - B \cdot (t_c - t_e) \quad (7.11)$$

La ecuación (7.11) se la denomina la doble diferencia de temperatura. La idea física sería la “*fuerza termodinámica motriz*” que hace que la máquina produzca frío.

Las ecuaciones del balance de energía de cada uno de los componentes del ciclo son:

$$\dot{Q}_e = \dot{m}_{ref} \cdot (h_{vapor(e)} - h_{liquido(c)}) \quad (7.12)$$

$$\dot{Q}_c = \dot{m}_{ref} \cdot (h_{vapor(g)} - h_{liquido(c)}) \quad (7.13)$$

$$\dot{Q}_a = \dot{m}_{ref} \cdot h_{vapor(e)} + \dot{m}_{sol_fuerte} \cdot h_{sol_fuerte(g)} - \dot{m}_{sol_debil} \cdot h_{sol_debil(a)} - \dot{Q}_{hex} \quad (7.14)$$

$$\dot{Q}_c = \dot{m}_{ref} \cdot h_{vapor(g)} + \dot{m}_{sol_fuerte} \cdot h_{sol_fuerte(g)} - \dot{m}_{sol_debil} \cdot h_{sol_debil(a)} - \dot{Q}_{hex}$$

donde:

\dot{Q}_{hex} representa el calor intercambiado entre la solución fuerte y la solución débil.

Las anteriores ecuaciones de potencia de condensación, evaporación y generación se pueden expresar en función de la potencia de evaporación de la siguiente manera:

$$\dot{Q}_c = \frac{h_{vapor(g)} - h_{liquido(c)}}{h_{vapor(e)} - h_{liquido(c)}} \cdot \dot{Q}_e = C \cdot \dot{Q}_e \quad (7.15)$$

$$\begin{aligned} \dot{Q}_a &= \frac{h_{vapor(e)} - h_{sol_fuerte(g)}}{h_{vapor(e)} - h_{liquido(c)}} \cdot \dot{Q}_e + \dot{m}_{sol_debil} \cdot (h_{sol_fuerte(g)} - h_{sol_debil(a)}) - \dot{Q}_{hex} \\ &= A \cdot \dot{Q}_e + \dot{Q}_{perdidas} \end{aligned} \quad (7.16)$$

$$\begin{aligned} \dot{Q}_g &= \frac{h_{vapor(g)} - h_{sol_fuerte(g)}}{h_{vapor(e)} - h_{liquido(c)}} \cdot \dot{Q}_e + \dot{m}_{sol_debil} \cdot (h_{sol_fuerte(g)} - h_{sol_debil(a)}) - \dot{Q}_{hex} \\ &= G \cdot \dot{Q}_e + \dot{Q}_{perdidas} \end{aligned} \quad (7.17)$$

donde:

$\dot{Q}_{perdidas}$ representa la pérdida de eficiencia en el ciclo de absorción debido al intercambiador de solución. A, C y G corresponden a los coeficientes de entalpías en el absorbedor, condensador y generador.

Otro parámetro importante a considerar es s que representa la proporción de la conductancia total (UA) (tamaño de la máquina) de todos los elementos del sistema (evaporador, condensador, absorbedor, generador), expresada en la siguiente ecuación:

$$s = \frac{1}{\frac{G}{UA_g z_g} + \frac{A}{UA_a z_a} + B \left(\frac{C}{UA_c z_c} + \frac{1}{UA_e z_e} \right)} \quad (7.18)$$

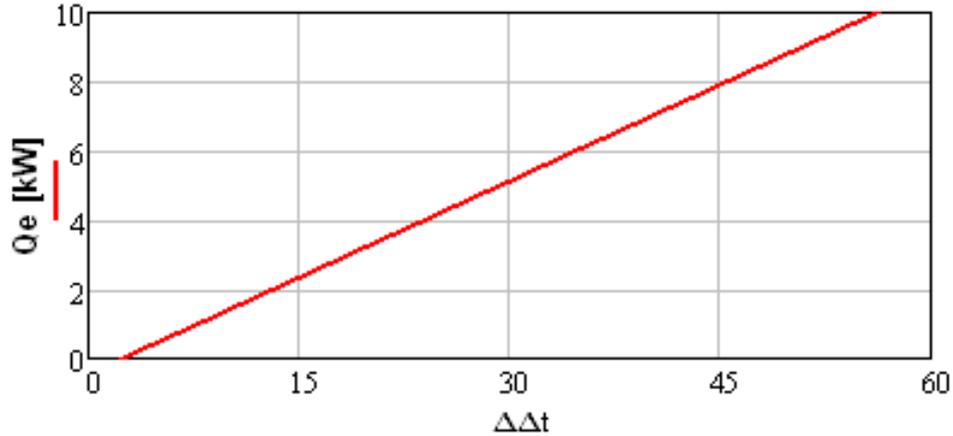


Figura 7.1: Potencia en el evaporador de la máquina de absorción en función de $\Delta\Delta t$ ($\Delta\Delta t_{min} = 3.5[K]$, $G = 1.04$, $\alpha = 0.2$).

El parámetro α indica cómo se hizo el reparto de la capacidad de transmisión de calor total en el interior de la máquina.

$$\alpha = \left(\frac{1}{UA_g z_g} + \frac{1}{UA_a z_a} \right) \cdot s \quad (7.19)$$

La capacidad de frío se expresa en la siguiente ecuación:

$$\dot{Q}_e = s \cdot \Delta\Delta t - \alpha \cdot \dot{Q}_{perdidas} = s \cdot (\Delta\Delta t - \Delta\Delta t_{min}) \quad (7.20)$$

donde, la pérdida $\dot{Q}_{perdidas}$ en el interior de la máquina se expresa como $s \cdot \Delta\Delta t_{min}$, que indican una “fuerza” mínima necesaria o un “rozamiento” interno y este puede variar en función de la carga $\Delta\Delta t$ de la máquina, ver referencia [37],

La capacidad de frío en una máquina de simple efecto LiBr-H₂O, descrita en la ecuación (7.20), tiene una relación directa con el $\Delta\Delta t$ de la máquina. De manera que cuanto mayor fuerza termodinámica, mayor será la capacidad de generación de frío, (reflejada en la figura 7.1).

El rendimiento de una máquina de absorción simple efecto se define como:

$$EER = \frac{\dot{Q}_e}{\dot{Q}_g} = \frac{\dot{Q}_e}{G \cdot \dot{Q}_e + \dot{Q}_{loss}} = \frac{\Delta\Delta t - \Delta\Delta t_{min}}{G \cdot \Delta\Delta t + \left(\frac{1}{\alpha} - G\right) \Delta\Delta t_{min}} \quad (7.21)$$

De forma análoga a la capacidad de producción de frío, el rendimiento también está relacionado en forma directa al $\Delta\Delta t$ de la máquina. A mayor fuerza, mayor capacidad y normalmente mejor rendimiento (ver figura 7.2).

Estas dos ecuaciones representan las ecuaciones características de una máquina de absorción de simple efecto. Si una máquina real se toma con 2 puntos de operación conocida, luego se pueden plantear 4 ecuaciones; $\{EER, Q_e\}$ para cada punto. A partir de estas 4 ecuaciones, se puede despejar las 4 incógnitas; $\{\alpha, s, \Delta\Delta t_{min,1}, \Delta\Delta t_{min,2}\}$. En máquinas de absorción, habitualmente un fabricante

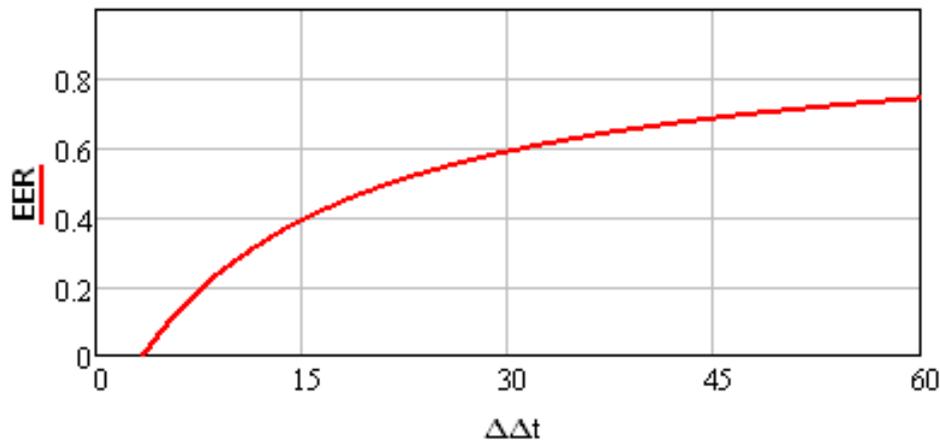


Figura 7.2: Rendimiento máquina de absorción en función de $\Delta\Delta t$ ($\Delta\Delta t_{min} = 3.5[K]$, $G = 1.04$, $\alpha = 0.2$).

fija α y los $\Delta\Delta t_{min}$ con su diseño y toda la gama de máquinas comparte estos parámetros y sólo hacen variar el parámetro s (la escala de la máquina).

Veamos un ejemplo. Del catálogo de un fabricante se ha extraído la siguiente información para una máquina de simple efecto:

General

- Δt_g salto de temperatura de la corriente de agua en el generador 10°C .
- Δt_c salto de temperatura de la corriente de agua en el condensador 3.5°C .
- Δt_a salto de temperatura de la corriente de agua en el absorbedor 3.5°C .
- Δt_e salto de temperatura de la corriente de agua en el evaporador 5.0°C .

Punto 1

- t_{a1} temperatura de entrada al absorbedor 30°C .
- t_{g1} temperatura de entrada al generador 98°C .
- t_{e1} temperatura de salida del agua fría (evaporador) 7°C .

El $\Delta\Delta t$ calculado usando las temperaturas medias de las corrientes en cada elemento es: $\Delta\Delta t_1 = 31.64^{\circ}\text{C}$, en estas condiciones el rendimiento y la potencia frigorífica es:

$$\frac{EER_1}{0.75} \quad \frac{\dot{Q}_{e1}[kW]}{151}$$

Punto 2

t_{a2} temperatura de entrada al absorbedor 32°C .

t_{g2} temperatura de entrada al generador 90°C .

t_{e2} temperatura de salida del agua fría (evaporador) 7°C .

El $\Delta\Delta t$ calculado usando las temperaturas medias de las corrientes en cada elemento es: $\Delta\Delta t_2 = 25.10^{\circ}\text{C}$, en estas condiciones el rendimiento y la potencia frigorífica es:

$$\frac{EER_2}{0.739} \frac{\dot{Q}_{e2}[\text{kW}]}{135.9}$$

Lo cual da como resultado:

$$\frac{\Delta\Delta t_{min1}[^{\circ}\text{C}]}{0.03} \quad \frac{\Delta\Delta t_{min1}[^{\circ}\text{C}]}{0.02} \quad \alpha \quad s[\text{kW/K}]$$

$$0.002 \quad 4.778$$

De estos resultados se puede inferir que este fabricante dimensiona generosamente el intercambiador de solución intermedia (por eso los términos de pérdidas son pequeños) y asigna una capacidad de intercambio muy grande a generador y absorbedor (pues el α es pequeño) en comparación con la capacidad total de intercambio instalada. Cualquier otra máquina de la serie de este fabricante comparte estos valores salvo s que crece con la potencia nominal de la máquina.

7.2.4. Diseño óptimo de una máquina endorreversible

Con el objetivo de tener una referencia sobre el diseño óptimo de la máquina de absorción de simple efecto, que nos dé una idea, de cuál debería ser el orden de magnitud de los parámetros de la formulación realizada por Ziegler en comparación a una máquina real, en cuanto a distribución del UA , en lo que sigue se hace un análisis sobre el diseño óptimo de un ciclo SE endorreversible cuyas únicas fuentes de irreversibilidad sean los intercambios de calor externos asociados a unos UA finitos.

En la tesis doctoral desarrollada por V. Soto ver referencia [52]. Se diseña la máquina de absorción endorreversible partiendo de las hipótesis formuladas por Tozer [31]. Parte de un ciclo “real” de absorción con sus irreversibilidades en un diagrama T-S y busca el número mínimo de hipótesis (mínimas restricciones) que hacen el funcionamiento del ciclo, reversible. Las hipótesis planteadas son:

- El calor específico del líquido saturado es despreciable.
- Calor de evaporación es constante e independiente de la temperatura.

- El calor de solución varía sólo con la concentración.
- La expansión del refrigerante es isoentrópica.
- El calor específico de la solución es despreciable.
- El área del intercambiador de calor intermedio de solución es infinita.
- La circulación de masa de solución, entre absorbedor y generador, es infinitamente grande. Esto a su vez implica que las concentraciones de la solución rica en refrigerante y la solución débil se aproximen hasta coincidir.
- La entropía de mezcla de la solución es despreciable con respecto a la entalpía de evaporación del refrigerante.
- El vapor de refrigerante se comporta como gas ideal.
- El calor específico del vapor de refrigerante recalentado (proveniente del generador) tiene una capacidad calorífica despreciable.
- La presión de vapor del absorbente es cero.
- La circulación de la solución no consume trabajo.

Dado que el ciclo no produce entropía interna, el balance de entropía interna (tasa de aumento de entropía en las entradas de calor = tasa de disminución de entropía de calor en la salida) llega Tozer a una relación termodinámica de las temperaturas en (K):

$$T_e T_g = T_c T_a \quad (7.22)$$

Como se observa, los niveles de temperaturas no se pueden escoger independientemente ya que existe una relación entre ellos. El EER para el ciclo reversible de Tozer es:

$$EER = \frac{T_e}{T_c} = \frac{T_a}{T_g} \quad (7.23)$$

En lo que sigue se va a exponer cómo se puede aplicar este ciclo reversible o ciclo ideal de absorción al diseño de máquinas de simple efecto. El flujo total de entropía hacia el exterior es igual a la entropía total generada, tanto en los intercambios con los focos externos como la generada internamente:

$$\frac{Q_a}{t_1} + \frac{Q_c}{t_1} - \frac{Q_g}{t_2} - \frac{Q_e}{t_0} = \Delta S_{total} \quad (7.24)$$

La entropía interna generada es:

$$\frac{Q_a}{T_a} + \frac{Q_c}{T_c} - \frac{Q_g}{T_g} - \frac{Q_e}{T_e} = \Delta S_i \quad (7.25)$$

La ecuación (7.25) para el caso de un ciclo endorreversible es 0. La diferencia entre las ecuaciones (7.24) y (7.25) representa la entropía generada en los intercambios externos. La irreversibilidad I pueden expresarse como:

$$\begin{aligned} \dot{I} &= \Delta S_{ext} \cdot t_1 = (\Delta S_{total} - \Delta S_i) \cdot t_1 = \\ &= \dot{Q}_g \cdot \left[\left(1 - \frac{t_1}{t_2}\right) - \left(1 - \frac{t_1}{T_g}\right) \right] + \dot{Q}_c \cdot \left(1 - \frac{t_1}{T_c}\right) + \dot{Q}_a \cdot \left(1 - \frac{t_1}{T_a}\right) + \\ &+ \dot{Q}_e \cdot \left[-\left(1 - \frac{t_1}{T_e}\right) + \left(1 - \frac{t_1}{t_0}\right) \right] \end{aligned} \quad (7.26)$$

El mejor rendimiento del ciclo de absorción se obtiene al minimizar I teniendo en cuenta la restricción sobre la cantidad total de UA instalada. Siguiendo a Tozer [9] aquí se empleará la capacidad total de intercambio, definida por la ecuación:

$$\begin{aligned} K &= A_g U_g + A_c U_c + A_e U_e + A_a U_a = \frac{\dot{Q}_g}{\Delta T_g} + \frac{\dot{Q}_c}{\Delta T_c} + \frac{\dot{Q}_e}{\Delta T_e} + \frac{\dot{Q}_a}{\Delta T_a} \\ K &= \frac{\dot{Q}_g}{(t_g - T_g)} + \frac{\dot{Q}_c}{(T_c - t_c)} + \frac{\dot{Q}_e}{(t_e - T_e)} + \frac{\dot{Q}_a}{(T_a - t_a)} \end{aligned} \quad (7.27)$$

Otras restricciones impuestas son: la capacidad deseada del evaporador y las temperaturas externas de diseño.

$$\dot{Q}_c = \dot{Q}_e = 1 \text{ kW} \quad (7.28)$$

$$\begin{aligned} t_0 &= t_0^{diseño} \\ t_1 &= t_1^{diseño} \\ t_2 &= t_2^{diseño} \end{aligned} \quad (7.29)$$

con el uso de la ecuación del EER (7.23), se obtiene el flujo de calor.

$$\dot{Q}_a = \dot{Q}_g = \frac{1 \text{ kW}}{EER} = \frac{T_g}{T_a} \quad (7.30)$$

Sustituyendo el flujo de calor en (7.26), e introduciendo el intercambio de calor total UA del sistema (7.27), el problema se reduce a:

$$\begin{aligned} \dot{I}(\beta, T_g, T_a) &= \beta^{-1} \cdot t_1 \cdot \left(\frac{1}{T_g} - \frac{1}{t_2^{diseño}} \right) + \left(1 - \frac{t_1^{diseño}}{\beta \cdot T_g} \right) + \beta^{-1} \cdot \left(1 - \frac{t_1^{diseño}}{T_a} \right) + \\ &t_1 \cdot \left(\frac{1}{\beta \cdot T_a} - \frac{1}{t_2^{diseño}} \right) \end{aligned} \quad (7.31)$$

$$f_k(\beta, T_g, T_a) = \frac{\beta^{-1}}{(t_2^{diseño} - T_g)} + \frac{1}{(\beta \cdot T_g - t_1^{diseño})} + \frac{\beta^{-1}}{(T_a - t_1^{diseño})} + \frac{1}{(t_0^{diseño} - \beta \cdot T_a)} - K = 0 \quad (7.32)$$

donde:

$$\beta = \frac{T_c}{T_g} \quad (7.33)$$

$$\beta^{-1} = \frac{T_a}{T_e} = \dot{Q}_g = \dot{Q}_a \quad (7.34)$$

la ecuación (7.31) que representa las irreversibilidades debe ser minimizada teniendo en cuenta la restricción impuesta por la ecuaciones anteriores (7.27-7.28 y 7.29). Tras simplificar se comprueba que en este caso sólo depende de β ;

$$\begin{aligned} \min_{\beta, T_a, T_g} \dot{I}(\beta) &= \left(1 + \frac{1}{\beta}\right) - t_1^{diseño} \cdot \left(\frac{1}{\beta \cdot t_2^{diseño}} + \frac{1}{t_0^{diseño}}\right) \\ f_k(\beta, T_g, T_a) &= \frac{\beta^{-1}}{(t_2^{diseño} - T_g)} + \frac{1}{(\beta \cdot T_g - t_1^{diseño})} + \frac{\beta^{-1}}{(T_a - t_1^{diseño})} + \frac{1}{(t_0^{diseño} - \beta \cdot T_a)} - K = 0 \end{aligned} \quad (7.35)$$

El problema se puede resolver aplicando multiplicadores de Lagrange y el sistema de ecuaciones resultante es:

$$\begin{aligned} \frac{\partial I}{\partial \beta} - \lambda \frac{\partial f_k}{\partial \beta} &= 0 \\ \frac{\partial I}{\partial T_g} - \lambda \frac{\partial f_k}{\partial T_g} &= 0 \\ \frac{\partial I}{\partial T_a} - \lambda \frac{\partial f_k}{\partial T_a} &= 0 \\ f_k(\beta, T_g, T_a) &= 0 \end{aligned} \quad (7.36)$$

La solución del sistema (7.36 y 7.32) nos conduce al reparto óptimo $UA_e = UA_a$ y $UA_c = UA_g$. Las siguientes expresiones son para las temperaturas internas de funcionamiento del ciclo ideal.

$$T_g = \frac{\beta \cdot t_2 + t_1}{2 \cdot \beta} \quad (7.37)$$

$$T_a = \frac{\beta \cdot t_1 + t_0}{2 \cdot \beta} \quad (7.38)$$

Si se substituyen estos valores en la ecuación (7.32) se obtiene la siguiente ecuación de 2º grado para el valor de β con el valor de K como parámetro:

$$\begin{aligned} t_1^{diseño} \cdot t_2^{diseño} \cdot \beta^2 + \left[\frac{4}{K} (t_2^{diseño} - t_1^{diseño}) - (t_0^{diseño} \cdot t_2^{diseño} + (t_1^{diseño})^2) \right] \beta + \\ \left[\frac{4}{K} (t_0^{diseño} - t_1^{diseño}) + t_0^{diseño} \cdot t_1^{diseño} \right] = 0 \end{aligned} \quad (7.39)$$

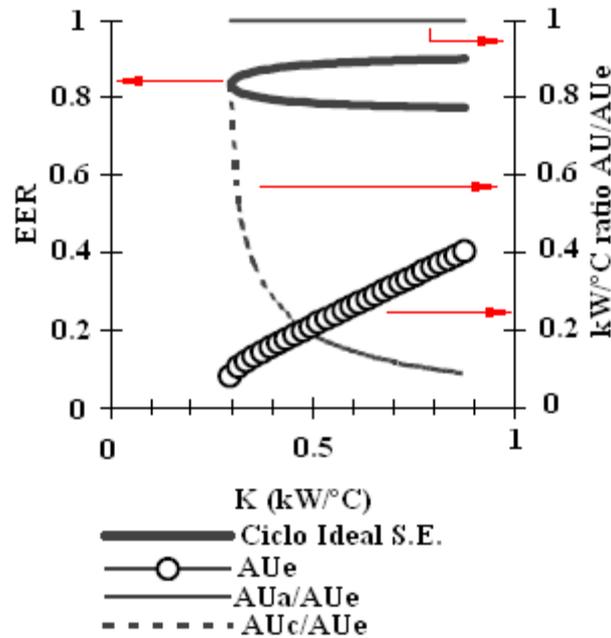


Figura 7.3: Diseño óptimo del ciclo endorreversible. Capacidad del evaporado por cada kW de capacidad y razón de capacidades del resto de los componentes $t_0^{\text{diseño}} = 7^\circ\text{C}$, $t_1^{\text{diseño}} = 32^\circ\text{C}$, $t_2^{\text{diseño}} = 127^\circ\text{C}$.

para cada valor de β encontrado en la ecuación (7.39), con las restricciones impuestas y reemplazando en las ecuaciones (7.3-7.4-7.5 y 7.6) se obtiene la relación de UA de los componentes correspondientes, (ver figura 7.3).

Esto significa que para un valor de K ($K > K_{\min}$) existen dos soluciones (ver figura 7.3 y 7.4) un diseño óptimo y uno pésimo. También Summerer [54] obtiene una rama de EER mínimo, que indica que es posible conseguir la peor distribución posible para una cierta cantidad de capacidad de intercambio total K . La curva de Summerer en forma de herradura, se ubica por debajo (ver figura 7.4) al EER ideal SE. Puesto que en el modelo planteado por Summerer consideraba pérdidas internas.

7.2.5. Ecuación característica de Ziegler con un diseño óptimo de máquina endorreversible

La optimización endorreversible es importante porque nos da una pista sobre el significado práctico de los parámetros $\{s, \alpha, \Delta\Delta t_{\min}\}$, de las ecuaciones características en relación con el ciclo de diseño óptimo. La s se relaciona con la cantidad total de capacidad instalada de transferencia de calor (llamado K en la sección anterior). Se trata de un costo de capital invertido en la máquina para una capacidad nominal determinado. El α estaría relacionado con la distribución de esta capacidad de intercambio de calor total entre el absorbedor, evaporador, condensador y el generador que se ha demostrado previamente la dependencia con

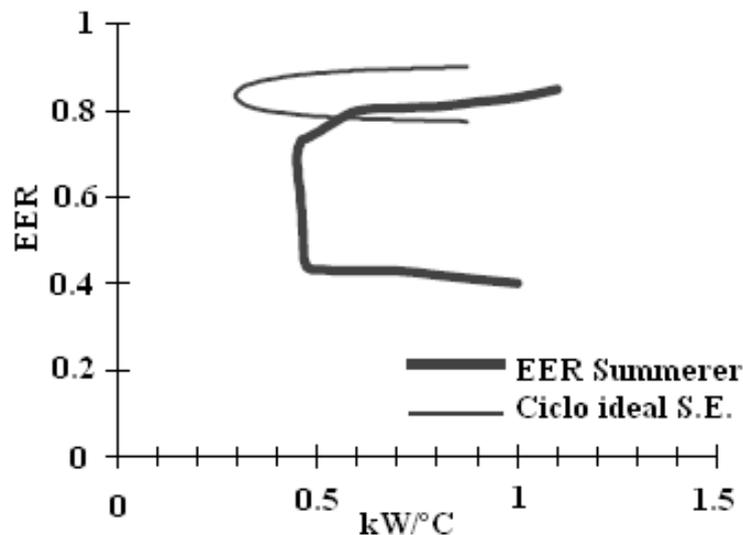


Figura 7.4: Capacidad de intercambio total mínimo para obtener un cierto EER, caso SE para $t_0^{diseño} = 7^{\circ}C$, $t_1^{diseño} = 32^{\circ}C$, $t_2^{diseño} = 127^{\circ}C$.

el rendimiento (EER). Por último, el $\Delta\Delta t_{min}$ estaría relacionado con las pérdidas internas del ciclo.

Ahora nos gustaría conocer que valores óptimos de $\{s, \alpha, \Delta\Delta t_{min}\}$ se acercarán a una máquina real de LiBr-H₂O cuando las pérdidas internas del ciclo tienda a cero. Esto representaría la mejor máquina diseñada internamente.

Reemplazando la ecuación (7.18) en la ecuación (7.19), teniendo en cuenta que $UA_g = UA_c$ y $UA_e = UA_a$ y los factores de corrección de los diferentes componentes (z) de la ecuación (7.19), son igual a 1, se tiene:

$$\begin{aligned} \alpha &= \frac{1+x}{G+A \cdot x+B \cdot C+B \cdot x} \\ &= \frac{1+x}{(G+B \cdot C)+(A+B) \cdot x} \end{aligned} \quad (7.40)$$

donde, $x = UA_g/UA_a$

Para una temperatura de 90°C en el generador, 30°C en el líquido saturado a la salida de condensador y 5°C de vapor saturado en el absorbedor los valores de las constantes de la anterior ecuación son: $G=1.02$, $A=0.963$, $C=1.06$ y B igual a 1.15.

Para un ciclo endorreversible el valor de α varía muy poco de (0.44 a 0.47), por lo que se puede afirmar que se mantiene casi constante. En la práctica se puede decir que α tiene el sentido de parámetro de diseño, con el que se procura corregir las pérdidas internas $\Delta\Delta t_{min}$. Cuando estas son pequeñas $\Delta\Delta t_{min} \simeq 0$, el α óptimo hemos supuesto que será del orden de 0.5.

Del análisis de la ecuación (7.21), si α es pequeño para un $\Delta\Delta t_{min}$ el rendimiento baja. Por lo tanto, para este estudio se eligió dos valores de α de diseño $\alpha=0.2$

y $\alpha=0.5$ correspondientes a un mal y buen diseño y un término fijo de $\Delta\Delta t_{min}$. En A. Coronas et ál. [37], hace un estudio de los valores de $\Delta\Delta t_{min}$ en el evaporador, en dos puntos de funcionamiento, encontrando valores de 1.59 y 5.22 para cada uno de los casos estudiados el valor de alfa es de $\alpha=0.61$. Además, cabe mencionar en el mismo artículo, realiza una comparación entre un valores fijo de $\Delta\Delta t_{min} = 3$ y otro variables $\Delta\Delta t_{min} = 1.9K + 0.1 \cdot \Delta\Delta t$, siendo este último que presenta menores desviaciones de 15% y 20% respectivamente. Sin embargo, en este estudio se propone un valor fijo del $\Delta\Delta t_{min}$ para todos los componentes y se fija en $\Delta\Delta t_{min} = 3.5K$.

7.2.6. Acoplamiento de los captadores y la máquina de simple efecto

Una vez definidas las ecuaciones características que gobiernan el funcionamiento del sistema de absorción LiBr-H₂O de simple efecto y las ecuaciones del funcionamiento de los captadores solares, en este apartado vamos a combinarlos con el fin de encontrar un modelo que represente la temperatura de equilibrio y con ello la potencia de frío que se pueda obtener con el sistema.

De la ecuación característica descrita (7.18) y (7.20), la potencia máxima en el generador es:

$$\dot{Q}_g = \frac{\dot{Q}_e}{EER} = \frac{s \cdot (\Delta\Delta t - \Delta\Delta t_{min})}{\frac{\Delta\Delta t - \Delta\Delta t_{min}}{G \cdot \Delta\Delta t + (\frac{1}{\alpha} - G) \Delta\Delta t_{min}}} = s \left(G \cdot \Delta\Delta t + \left(\frac{1}{\alpha} - G \right) \Delta\Delta t_{min} \right) \quad (7.41)$$

Igualando la ecuación (7.41) potencia del generador, a la potencia de los colectores fototérmicos ecuación (7.2) se tiene la ecuación del balance de energía captador máquina:

$$A_{col} I \left(FR_{zcn} - \frac{FRU_L}{1000} \cdot \left(\frac{t_g^{eq} - t_{amb}}{I} \right) \right) = s \left(G \cdot \Delta\Delta t + \left(\frac{1}{\alpha} - G \right) \Delta\Delta t_{min} \right) \quad (7.42)$$

En lo que sigue se ha definido ψ , que representa el tamaño de captadores frente al tamaño de máquina.

$$\psi = \frac{A_{col}}{s} \quad (7.43)$$

Reemplazando en (7.42)

$$FR_{zcn} - \frac{FRU_L}{1000} \cdot \left(\frac{t_g^{eq} - t_{amb}}{I} \right) = \frac{1}{\psi \cdot I} \cdot \left(G \cdot \Delta\Delta t + \left(\frac{1}{\alpha} - G \right) \Delta\Delta t_{min} \right) \quad (7.44)$$

Adicionando a la ecuación (7.44), la ecuación (7.11) que corresponde a $\Delta\Delta t$ se tiene:

$$t_g^{eq} = t_{amb} + \frac{I \cdot 1000}{FRU_L} \cdot \left[FR_{z\alpha n} - \frac{1}{\psi \cdot I} \cdot \left(G \cdot (t_g^{eq} - t_a - B \cdot (t_c - t_e)) + \left(\frac{1}{\alpha} - G \right) \Delta\Delta t_{min} \right) \right] \quad (7.45)$$

Finalmente despejando la temperatura de equilibrio t_g^{eq} del sistema colectores máquina la ecuación modelo es:

$$t_g^{eq} = \frac{FRU_L \cdot \psi}{FRU_L \cdot \psi + 1000 \cdot G} \cdot \left[t_{amb} + \frac{1000}{FRU_L} \cdot \left(I \cdot FR_{z\alpha n} + \frac{G}{\psi} t_a + \frac{G \cdot B}{\psi} (t_c + t_e) - \left(\frac{1}{\alpha} - G \right) \frac{\Delta\Delta t_{min}}{\psi} \right) \right] \quad (7.46)$$

La temperatura de equilibrio t_g^{eq} es aquella a la cual, toda la potencia generada por el área de captadores solares, es igual a la potencia necesaria en el generador de la máquina de absorción.

Al modelo matemático representado por la ecuación (7.46), se aplica las siguientes restricciones: la temperatura de equilibrio no será mayor a 110°C , por que las máquinas de absorción SE con valores de t_g^{eq} mayores al valor fijado no trabajan. Por otra parte la temperatura de equilibrio no debe ser menor a 75°C , por debajo de este valor es improbable conseguir el acople directo entre captadores máquina.

De manera que:

$$\text{si } t_g^{eq} \geq 110^{\circ}\text{C}$$

$$\dot{Q}_e = \frac{1}{\psi} \cdot A_{col} [(110 - t_a) - B \cdot (t_c - t_e) - \Delta\Delta t_{min}]$$

$$\text{si } 75^{\circ}\text{C} \leq t_g^{eq} \leq 110^{\circ}\text{C}$$

$$\dot{Q}_e = \frac{1}{\psi} \cdot A_{col} [(t_g^{eq} - t_a) - B \cdot (t_c - t_e) - \Delta\Delta t_{min}]$$

$$\text{si } t_g^{eq} \leq 75^{\circ}\text{C}$$

$$\dot{Q}_e = 0$$

7.3. Discusión y aplicación del modelo

En lo que sigue se verá el efecto de la temperatura de evaporación, la relación tamaño de máquina a captadores ψ , el diseño de la máquina α sobre la potencia máxima y la capacidad anual de refrigeración así como su distribución temporal. En la segunda parte se propondrá un método para estimar la producción anual de frío definido como $DDGH$ potencial total termodinámico aplicado al $\Delta\Delta t$. para un tamaño unitario de máquina.

Para conseguir la aplicación de los modelos, se realiza la siguiente consideración:

- El valor de s será constante, en cada uno de los estudios realizados. Para hacer constante s se hará variar ψ y en la misma proporción será modificado A_{col} , (según la ecuación 7.43), ($s=0.1kW/K$). Para $\alpha=0.5$, $t_e = 5^{\circ}C$, $t_c = 28^{\circ}C$, $t_a=30.5^{\circ}C$, $t_g = 90^{\circ}C$, $\Delta\Delta t_{min}=3.5$ con un $s=0.1kW/K$ se obtiene un potencia de refrigeración de $\dot{Q}_e = 2.92kW$.

Bien, en lo que sigue se define y fijan valores correspondientes a cada una de las variables que intervienen en los modelos.

- De la localidad
 - Datos de la condiciones meteorológicos de las ciudades más representativas de cada una de las zonas climáticas (un año tipo juliano). Se corresponden con los valores obtenidos del Ministerio de Industria Turismo y Comercio de España [14], utilizados en los programas de certificación energética de edificios. Los ficheros contienen información horaria 8760 valores de: la temperatura exterior (t_{amb}), Incidencia de la radiación directa y difusa (en este trabajo se determina la incidencia total de radiación I que es la suma de la radiación directa más la radiación difusa, que llega al área de captadores a la inclinación correspondiente) y temperatura de bulbo húmedo (t_c).
 - Descripción geográfica de la zona (latitud, a.s.n.m).
- De los captadores
 - Para este estudio se consideró el diseño óptimo de verano como una inclinación de los captadores igual a -15° a la latitud del lugar. ($FR_{\tau\alpha}=0.825$, $FRU_L=1.1W/m^2K$, y corresponden a colectores de vacío).
 - El azimut, de todos los captadores es hacia el sur.
 - Superficie de captadores (A_{col}), para realizar cada uno de los estudios se hará variar desde $5m^2$ hasta $70m^2$.
 - El valor de ψ se hará variar de 50 a $700m^2K/kW$. Se utiliza 50 como valor inicial de ψ , para Valencia es el valor mínimo al cual la máquina es capaz de producir frío directamente acoplada a los captadores, con este valor se obtiene la t_g^{eq} superior a $75^{\circ}C$.
- De la máquina de absorción
 - $\Delta\Delta t_{min}$ y α , valores definido en la anterior apartado, que corresponden a 3.5 , $\alpha=0.2$ y $\alpha=0.5$ respectivamente.
 - La temperatura de condensación (t_c) será igual a la temperatura húmeda de la localidad más $2.5^{\circ}C$.
 - La temperatura de evaporación (t_e), como se menciona en la parte anterior, corresponderá a unidades terminales del tipo fan-coils $5^{\circ}C$, suelos y techos fríos $14^{\circ}C$.

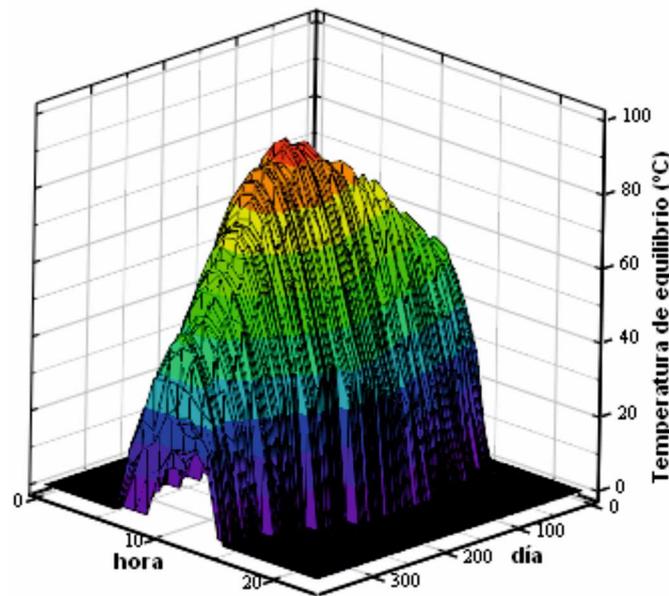


Figura 7.5: Temperatura del equilibrio (t_g^{eq}), para Valencia con $\alpha=0.5$, $\psi = 80 \text{ m}^2\text{K/kW}$, $A_{col} = 8 \text{ m}^2$, $t_e = 5^\circ\text{C}$ en función del día juliano y la hora solar.

- La temperatura de generación (t_g) será igual a la temperatura de equilibrio t_g^{eq} , determinada en la ecuación (7.46).
- La temperatura de absorbedor (t_a) es igual a la temperatura de húmeda de la localidad.

De la simulación horaria realizada para Valencia para condiciones ($\psi = 80 \text{ m}^2\text{K/kW}$, $A_{col} = 8 \text{ m}^2$, $\alpha=0.5$, $t_e = 5^\circ\text{C}$), la gráfica (7.5) muestra el comportamiento de la temperatura de equilibrio (t_g^{eq}). Se ve claramente que en la parte media del año correspondiente al verano, se alcanza valores más altos.

Solamente cuando la t_g^{eq} supera los 75°C , la máquina es capaz de producir frío.

En la figura (7.6) se observa en base a la t_g^{eq} de la figura (7.5), la capacidad de producción de frío. El valor máximo se produce a las $12h$. y tiene un valor de 5.07 kW y la máquina es capaz de producir frío durante los meses de: parte de Mayo, Junio, Julio, Agosto y Septiembre en un valor de 1667.7 kWh (6003.6 MJ).

Si en las mismas condiciones de funcionamiento, se eleva la temperatura de evaporación (t_e), de 5 y 14°C , los resultados de la capacidad de frío se muestran en la figura (7.8). La potencia máxima es 5.16 kW algo superior al caso anterior, sin embargo, la producción total de frío baja a 668.8 kWh (2407.5 MJ). Esta tendencia se ha observado para todas las zonas climáticas de España. La razón por la cual ocurre esto, se puede resumir como sigue: cuando la máquina produce agua a 5°C la temperatura de equilibrio del generador es más alta que cuando se produce a 14°C , como se puede ver al comparar las figuras (7.5) y (7.7). La causa de esta aparente contradicción es que al aumentar la temperatura de evaporación

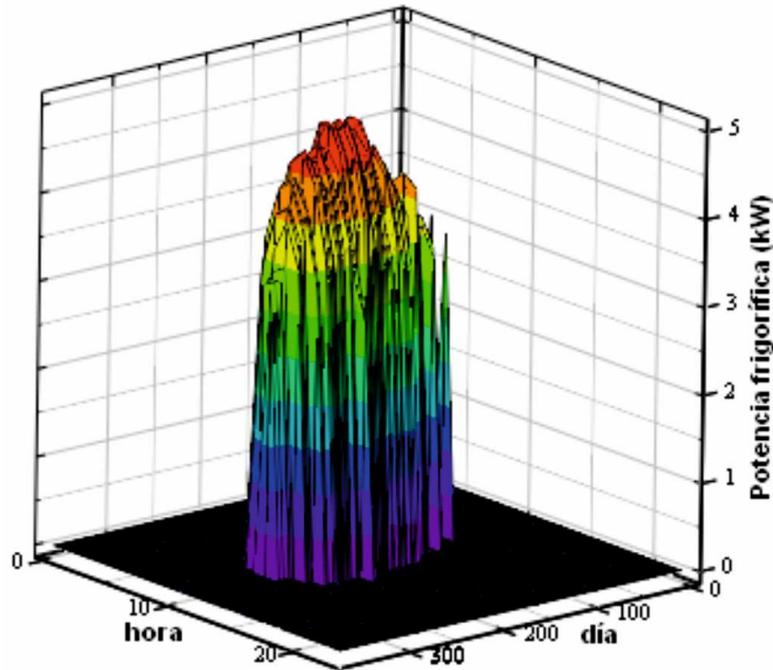


Figura 7.6: Potencia frigorífica en kW, para Valencia con $\alpha=0.5$, $\psi = 80 \text{ m}^2 \text{ K/kW}$, $A_{col} = 8 \text{ m}^2$, $t_e = 5^\circ \text{C}$ en función del día juliano y la hora solar.

la máquina de absorción por si sola pide más potencia en el generador para cierta temperatura del generador, sin embargo, al acoplarla la máquina a los captadores, estos no pueden dar más potencia a esa temperatura y el resultado final es un decrecimiento de la t_g^{eq} del generador, y en general una reducción del número de horas anuales en las que puede producir frío la máquina acoplada directamente a los captadores. No obstante en general el $\Delta\Delta t$ consigue valores superiores en el segundo caso lo cual implica potencias máximas superiores.

Adicionalmente se observa que en el primer caso es posible producir frío más temprano por la mañana y más tarde por la tarde que en el caso de elevar la temperatura de evaporación.

En la tabla (7.3) se recoge la capacidad total de frío y la potencia máxima para mismas condiciones de los dos casos anteriores en diferentes zonas climáticas de España.

Las figuras (7.9 y 7.10) muestra el comportamiento de la producción de frío anual cuando se aumenta ψ , (relación tamaño de colectores al tamaño de máquina). Se observa que el número de horas durante el año en el que se puede producir frío aumenta alcanzando los meses de invierno. Además se observa una zona plana durante los meses de verano, que corresponde a un exceso de producción de los captadores solares, cuya temperatura se limitó a 110°C , por tanto el sistema prácticamente se desacopla.

Las tendencias cambian con respecto al análisis anterior (a partir de valores de $\psi = 200 \text{ m}^2 \text{ K/kW}$) en estos casos se tiene mayor producción de frío a 14°C

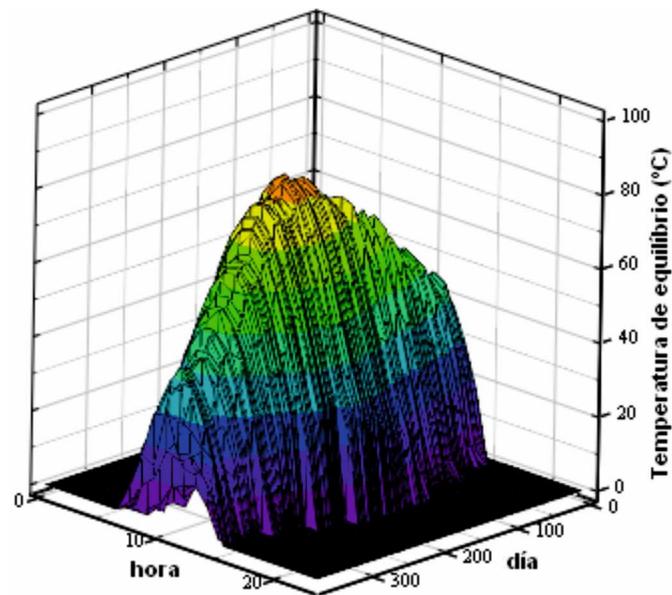


Figura 7.7: Temperatura del equilibrio (t_g^{eq}), para Valencia con $\alpha=0.5$, $\psi = 80 m^2 K/kW$, $A_{col} = 8 m^2$, $t_e = 14^\circ C$ en función del día juliano y la hora solar.

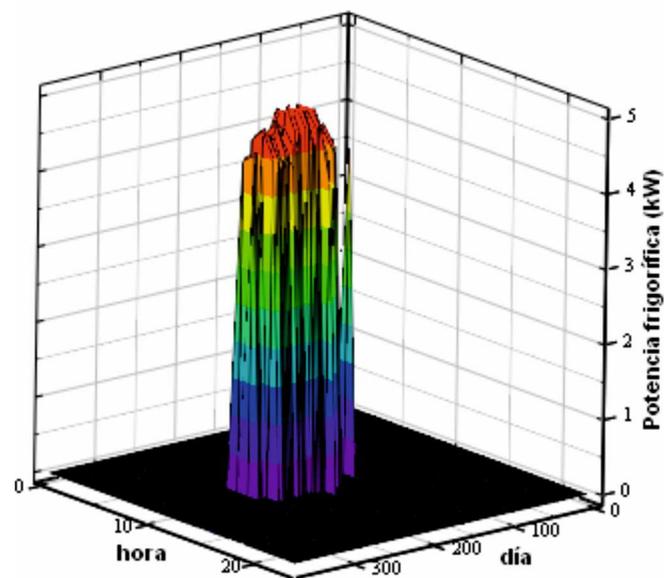
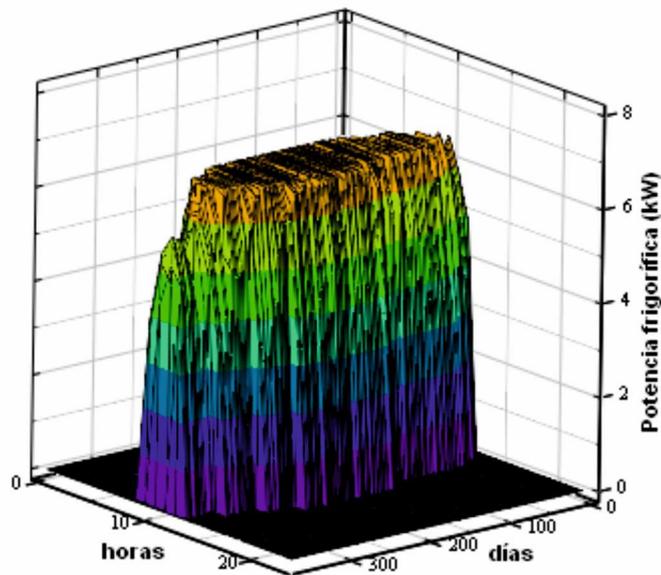


Figura 7.8: Potencia frigorífica en kW , para Valencia con $\alpha=0.5$, $\psi = 80 m^2 K/kW$, $A_{col} = 8 m^2$, $t_e = 14^\circ C$ en función del día juliano y la hora solar.

Table 7.1: Potencia de refrigeración en kW y producción anual de refrigeración $kW h$ (MJ) para diferentes zonas climáticas de España, con $\psi = 80 m^2 K/kW$, $A_{col} = 8 m^2$.

	$t_e = 5^{\circ}C$ $\alpha = 0.5$		$t_e = 5^{\circ}C$ $\alpha = 0.5$	
	Cap. de frío kW (MJ)	Pot. Máxima kW	Cap. de frío kW (MJ)	Pot. Máxima kW
Almería	2245.9 (8805.1)	5.11	1175.2 (4230.6)	5.20
Barcelona	1269.4 (4569.9)	5.05	470 (1692.1)	5.14
Bilbao	301.6 (1085.9)	4.48	52.8 (190.1)	4.57
Burgos	677.2 (2438)	4.38	57 (205.2)	4.47
Cádiz	2450 (8819.8)	5.08	1064 (3765.7)	5.16
Granada	1318 (4744.8)	4.61	181.4 (653.1)	4.70
Madrid	805.1 (2898.4)	4.38	65.5 (235.7)	4.47
Sevilla	2173.5 (7824.5)	5.05	748.9 (2696.1)	5.14
Toledo	1473.3 (5304)	4.83	397.9 (1432.5)	4.91
Valencia	1667.7 (6003.6)	5.07	668.8 (2407.5)	5.16
Vitoria	476.2 (1714.2)	4.51	39.5 (142.2)	4.59
Zamora	775.2 (2790.6)	4.37	52.3 (188.2)	4.45

Figure 7.9: Potencia frigorífica en kW , para Valencia con $\alpha = 0.5$, $\psi = 200 m^2 K/kW$, $A_{col} = 20 m^2$, $t_e = 5^{\circ}C$ en función del día juliano y la hora solar.

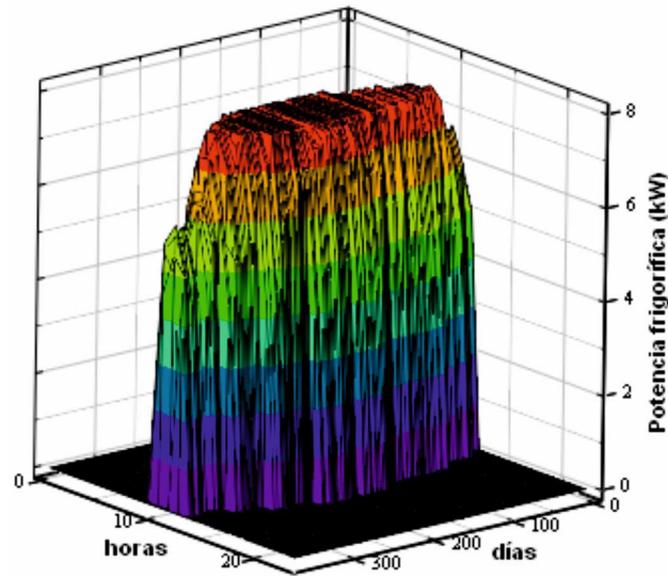


Figure 7.10: Potencia frigorífica en kW , para Valencia con $\alpha=0.5$, $\psi = 200 m^2 K/kW$, $A_{col} = 20 m^2$, $t_e = 14 ^\circ C$ en función del día juliano y la hora solar.

que a $5^\circ C$, los valores de la producción frío anual y la potencia máxima son: $11186 kW h$ ($402629.6 MJ$) y $6.7 kW$ para el caso de $t_e = 5^\circ C$ y $11331.6 kW h$ ($40793.8 MJ$) y $7.8 kW$ para el caso de $14^\circ C$.

La figura (7.11) se observa la producción total de frío en función de ψ , para las dos temperaturas de evaporación y para los dos valores de diseño de α . Se aprecia fundamentalmente los siguientes efectos: por una lado cuanto más alta sea la temperatura de evaporación ($t_e = 14^\circ C$) y peor sea el diseño ($\alpha = 0.2$) la cantidad mínima de superficie solar para un tamaño de máquina (ψ) debe ser mayor, para que el acople directo sea posible. Para Valencia la diferencia entre uno u otro parámetro de diseño es de $\psi = 50$ y $\psi = 70 m^2 K/kW$ (para conseguir el acople directo, ver tabla D.4). Tenga en cuenta para el mismo tamaño de máquina, se necesita incrementar un 40 % más en el segundo caso de superficie de captadores solares (valores que varían en función de la zona climática de España).

Por otro lado, para valores fijos de α , en el rango de $\psi_{min} \leq \psi \leq \psi_{limite}$ (valores de ψ_{limite} alrededor de 200), con $t_e = 14^\circ C$ la producción anual de frío es menor que con $t_e = 5^\circ C$ (los resultados inesperados se discutió en el anterior párrafo). Sin embargo para valores mayores de ψ_{limite} este comportamiento se invierte.

Finalmente para la misma Valencia, la producción anual de refrigeración es menor para valores de α más bajos del orden del 35 a 40 % en el rango de $\psi_{min} \leq \psi \leq \psi_{limite}$ (ψ_{limite} alrededor de 200). A partir de este valor la diferencia de elegir una buena o mala tecnología se reduce a un 5 %, eso supone tener una superficie de captadores muy grandes para el tamaño de la máquina.

Otra forma de evaluar el sistema es representar la capacidad de producción de

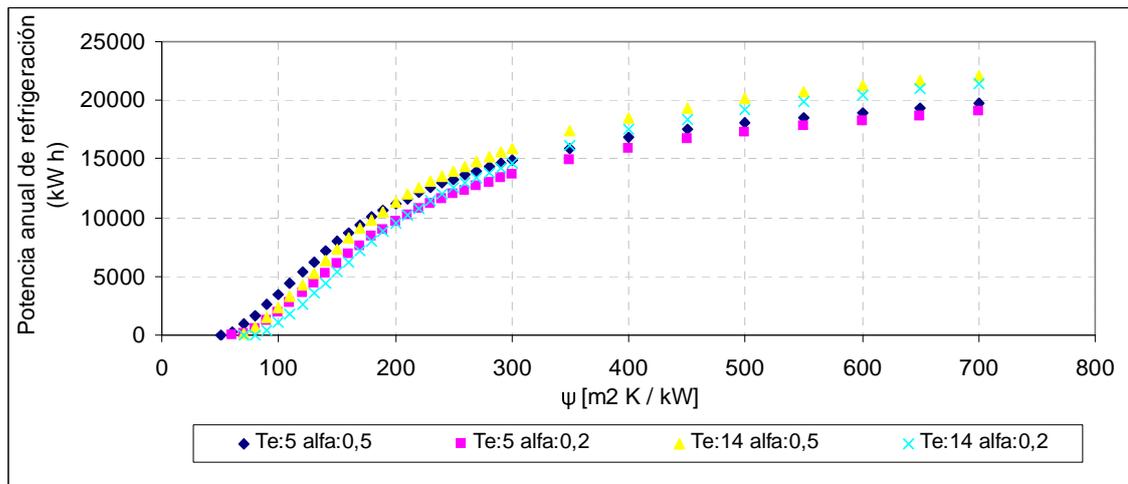


Figura 7.11: Producción anual de refrigeración en $kW h$ versus $\psi m^2 K / kW$, en diferentes combinaciones de t_e y α , para la ciudad de Valencia.

frío anual, respecto a la cantidad de radiación solar incidente sobre los captadores, se define como un rendimiento del sistema η_s .

$$\eta_s = \frac{\sum_{horas=1...8760} \dot{Q}_e}{\sum_{horas=1...8760} I \cdot A_{col}} \quad (7.47)$$

Una representación gráfica para los casos anteriores de la figura (7.11) se puede ver en la figura (7.12). La figura muestra más claramente las diferencias de rendimiento entre una buena y pésima máquina así como el efecto de la saturación del acoplamiento para valores muy altos de ψ . Los valores máximo de rendimiento con una máquina buena y evaporando a 5 y 14°C son del orden de 30 %.

Por último, las curvas anteriores se pueden generalizar para una máquina con un tamaño cualquiera, en el DDGH que es el potencial total termodinámico aplicado al $\Delta\Delta t$ (en anexo D se detalla la definición de la ecuación de DDGH), y es expresada a partir de la siguiente ecuación:

$$DDGH = \frac{\sum_{año} \dot{Q}_e}{s} = \sum_{año} (\Delta\Delta t - \Delta\Delta t_{min}) \quad (7.48)$$

Los DDGH para un tamaño de máquina unitario $s = 1 kW/k$, dependen del tipo y orientación de los captadores, zona climática, diseño de máquina y de la relación de ψ . La representación gráfica de los DDGH, para los casos anteriores analizados es la figura (7.13). Que consiste en dividir los resultados, de la gráfica (7.11) entre $s=0.1kW/K$ de acuerdo con la ecuación (7.48).

En el Anexo D se recogen los valores de los DDGH para el tipo de captador utilizado en este estudio, con inclinación -15° respecto de la latitud del lugar, orientados al sur, en diferentes valores de ψ , con dos diseños de máquina ($\alpha = 0.2$

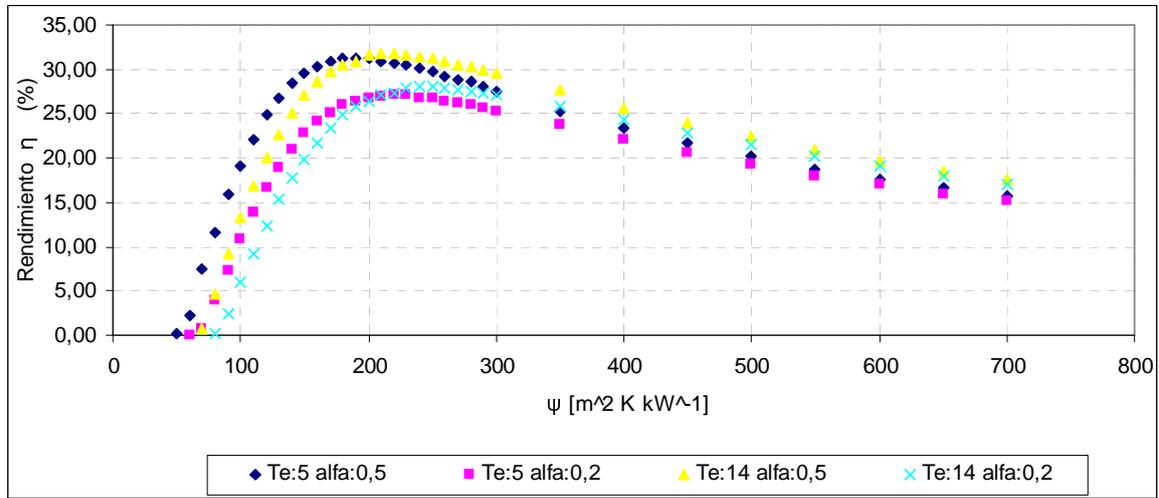


Figura 7.12: Rendimiento del acople captador máquina versus $\psi \text{ m}^2 \text{ K/kW}$, en diferentes combinaciones de t_e y α , para la ciudad de Valencia.

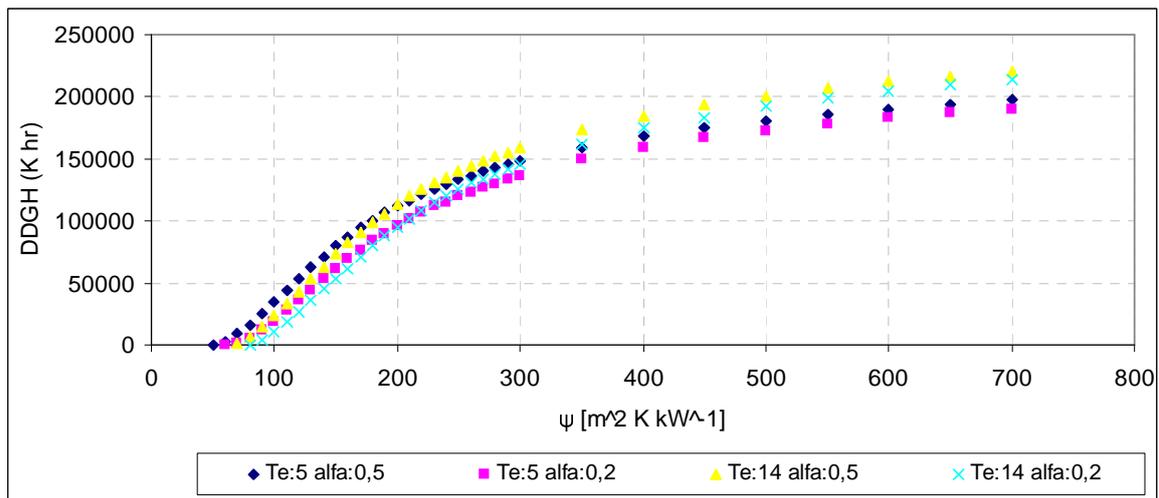


Figura 7.13: DDGH versus $\psi \text{ (m}^2 \text{ K/kW)}$, en diferentes combinaciones de t_e y α , para la ciudad de Valencia .

y $\alpha = 0.5$) y en dos temperaturas de evaporación ($t_e = 14$ y 5°C). Resultados de DDGH para las 12 zonas climáticas de España. Valores que pueden ser muy útiles al momento de dimensionar de forma rápida el sistema.

7.4. Conclusiones

Del estudio realizado en este capítulo se llega a las siguientes conclusiones:

- Se obtuvo un modelo matemático sencillo para el acople captadores solares y máquina de absorción.
- En la aplicación del modelo se evaluaron la producción de frío y la potencia máxima, para diferentes combinaciones de diseño de máquina, área de captadores, y en dos temperaturas de entrega de frío.
- Los resultados prácticos del estudio se recogen en el Anexo D para las diferentes zonas climáticas españolas. Estas tablas son obtenidas con colectores solares de vacío, orientadas hacia el sur y con una inclinación de 15 grados por debajo de la latitud del lugar. Estas tablas pueden facilitar la determinación del tamaño de captador y máquina de absorción para una producción anual de frío.

Capítulo 8

Máquina de frío solar + simulación térmica

El uso de las energías renovables, se ha convertido en un paliativo al exceso consumo de energía convencional. Durante estos últimos tiempos se han desarrollado tecnologías que contribuyan el uso frecuente de los recursos naturales, en ese enfoque, en este capítulo se presenta el estudio del acondicionamiento de viviendas del tipo residencial, con la utilización de energía solar para la generación de potencia de refrigeración.

Los captadores solares fototérmicos se conectan a una máquina de absorción LiBr-H₂O para la generación de frío. El modelo del acople de los captadores solares y la máquina de absorción de simple efecto se ha desarrollado en el capítulo anterior, donde se determinó una ecuación representativa de la combinación de ambos, denomina temperatura de equilibrio (t_g^{eq}) del sistema (ecuación 7.46). A consecuencia de obtener t_g^{eq} en el generador de la máquina de absorción, se consigue desarrollar potencia frigorífica disponible para diferentes parámetros de diseño de ambos sistemas. ref. [23].

La simulación térmica de las viviendas unifamiliares, se realiza con el método descrito en el capítulo 4. A sí mismo se incorpora al método la ecuación que caracteriza al acople captador y máquina de absorción.

Los objetivos que se buscan en este capítulo son: obtener el tamaño óptimo del sistema (captadores, máquina) en relación al edificio, la evaluación económica y la cuantificación en reducción de emisiones de CO_2 por el uso de esta tecnología, en dos servicios de entrega de aire acondicionado (fan-colis, techos y suelos radiantes como unidades terminales). Para ello se utilizan los edificios modelo (los mismos para la validación del programa propuesto ver ANEXO C y referencia [16]). Se abarcará a las zonas climáticas más representativas de España.

8.1. Planteamiento

El comportamiento térmico de los edificios depende de una serie de variables que intervienen, desde la arquitectura (diseño y coeficientes globales de transfe-

rencia de calor U , en cerramientos opacos y elementos de hueco), la ubicación del edificio (orientación), el uso (tipo de edificio: unifamiliar o en bloque) y el sistema de acondicionamiento.

Los edificios para mantener condiciones de confort (verano como en invierno), utilizan sistemas convencionales. Se entiende por sistema convencional a los diferentes equipos que utilizan energía eléctrica o combustibles fósiles (calderas, bomba de calor, sistemas splits...).

Cada uno de los parámetros antes mencionados tienen una relativa importancia, durante la simulación térmica, con ello se consigue determinar la demanda de energía para ciertas condiciones meteorológicas, para las épocas de verano e invierno.

Al combinar la producción de frío solar con el comportamiento térmico del edificio, la mayor parte de la demanda de frío requerida por el edificio en verano, se abastece por el sistema de frío solar y no así por los sistemas convencionales.

En la combinación de los dos sistemas, interviene una serie de factores que ayudan e inciden al acople óptimo. Por parte de edificio todo es relevante (orientación y aislamiento de los cerramientos del edificio...). En el sistema que produce frío, la importancia se centra en: el tamaño y tecnología de máquina que se utiliza $\{s, \alpha \text{ y } \psi\}$, el área, ubicación de los captadores $\{A_{col}\}$ y el tipo de condensación de la máquina de absorción, sumado a las condiciones meteorológicas de la localidad preponderan la importancia dentro la combinación. En el apartado de discusión de la conexión entre ambos sistemas, se hace varios análisis para poder determinar una conexión óptima entre ellos.

8.2. Interacción entre ambos sistemas

De los modelos desarrollados en los capítulos anteriores, en lo que sigue, la potencia frigorífica se implementa al programa propuesto. El funcionamiento de la máquina convencional es función del termostato de control, sin embargo, la máquina de frío solar estará siempre trabajando y proporcionará frío solar cuando las condiciones de diseño y meteorológicas lo permitan. Para varios meses de verano se obtiene producción de frío, así como se muestra en el capítulo anterior, por tanto, en aquellos días el edificio utilizará este sistema de refrigeración solar y no así el convencional.

La adecuada implementación en el método propuesto, se realiza en el numerador de la ecuación (4.93), que corresponde la energía generada en el estado anterior (AA) del edificio. A ello se resta toda la potencia de refrigeración desarrollado por la máquina de frío solar para cada periodo de tiempo (simulación horaria). De esta manera se consigue alterar las condiciones interiores del local para ese periodo de cálculo. Si en esa hora se cubre toda la demanda de frío que requiera el edificio el $Q_{sistema, sen} = 0$ y la temperatura del local en esa hora será igual a la calculada T_{sL} .

La ecuación es:

$$T_{sL}(n) = -\frac{(AA - Q_e)}{BB} \quad (8.1)$$

Si el sistema genera frío en el periodo de invierno y la temperatura del local es menor a 20°C , el frío solar se desconecta. La temperatura del local se determinará a partir de la ecuación (4.93), si esta temperatura es menor a la del termostato se procederá como se explico en proceso de cálculo del programa propuesto capítulo 4.

El diseño óptimo de la instalación se hará para la época de verano, pero existe la posibilidad en invierno, de obtener beneficio del área de captadores solares instalados (calentar agua en los captadores). Para aprovechar la energía desarrollada por los captadores solares, al modelo propuesto se hace el siguiente ajuste:

- Si la temperatura del local se encuentra por debajo de 20°C (meses de invierno), la cantidad de energía desarrollada por el sistema de captadores solares suma a la energía generada por el edificio, con ello se incorpora la calefacción, generando energía en los captadores solares a 35°C , se expresa en la siguiente ecuación:

$$Q_{col} = A_{Col} \cdot I \cdot FR_{\tau\alpha} - FRU_L \cdot \left(\frac{35 - t_{amb}}{I} \right) \quad (8.2)$$

Y el nuevo valor de la temperatura del local será igual a:

si $T_L(n) \leq 20^{\circ}\text{C}$

$$T_{sL}(n) = -\frac{(AA + Q_{col})}{BB} \quad (8.3)$$

Al igual que en verano, en invierno, con la energía generada por la instalación fototérmica, conseguimos alterar las condiciones del local, con ello se conseguirá rebasar el límite fijado por el termostato. Por tanto, a esa hora de cálculo $Q_{sistema, sen} = 0$ y la temperatura del local será igual a la calculada.

Si los dos sistemas, no puedan cubrir o en su caso solo cubren en forma parcial las demandas de refrigeración o calefacción solicitado por el edificio, el sistema convencional (en función del control del termostato) se encargará de satisfacer las condiciones de confort en la zona térmica.

8.3. Discusión de la conexión entre ambos sistemas

Al combinar ambos modelos, uno se plantea la siguientes interrogantes: ¿La producción de frío solar es igual a la demanda de refrigeración anual?, ¿Será posible satisfacer las necesidades de refrigeración y la producción de refrigeración (en los picos de carga y / o media anual)? y luego, ¿qué pasará con la calefacción? , ¿Cuál sería la mejor temperatura del agua fría para que coincida con las necesidades de refrigeración?

Hay muchos factores que inciden en una buena combinación de ambos sistemas, para los cual cada caso debe analizarse de forma independiente.

Una proporción de los costos se introduce al análisis, que puede ser importante a la hora de tomar decisiones de diseño. Para ello se utiliza la siguiente relación:

$$Rc = \frac{\text{costo de la máquina de absorción}}{\text{costo del área de captadores}} \quad (8.4)$$

donde:

costo de la máquina de absorción en ($\text{€} / \text{kW}/\text{K}$).

costo del área de captadores ($\text{€}/\text{m}^2$).

Asumiendo en primera instancia, un valor de $Rc = 250 \text{ m}^2\text{K}/\text{kW}$. Para obtener una cifra anual, se fija la demanda de refrigeración. Los resultados de los diferentes costes del sistema de refrigeración solar, que proporciona la misma cantidad de refrigeración anual se muestra en la figura (8.2). Tenga en cuenta que aunque la cantidad total de enfriamiento es el mismo, la distribución a través del año es muy diferente. El costo más alto es para un sistema con una gran cantidad de superficie de colector y una máquina grande ($\psi = 75 \text{ m}^2\text{K}/\text{kW}$).

En este caso el efecto de enfriamiento se concentra en el período estival del año. Sin embargo, es posible aplanar la superficie de enfriamiento anual al disminuir la cantidad de la superficie de colectores solares y la disminución del tamaño de la máquina, por lo tanto el costo decrece. La curva de la figura es parametrizada por el valor ψ . Cuanto mayor sea este valor, mayor es el campo de colectores solares en relación con el tamaño de la máquina. Llega un punto de $\psi = 200 \text{ m}^2\text{K}/\text{kW}$ cuando el área de colectores debe elevarse para mantener el enfriamiento anual del sistema solar. Cualquier otro valor de la relación costo Rc hace que la curva oscilan alrededor de este punto. Este punto como se vio en el capítulo anterior corresponde con el punto en que el sistema de refrigeración solar tiene su mayor rendimiento.

El área de colectores solares necesarios para cubrir la demanda de refrigeración del edificio se puede estimar de la siguiente ecuación:

$$A_{col} = \psi \cdot \frac{\text{Demanda frio (vivienda, zona climática)}}{DDGH(\psi, \text{captadores, sitio}, \alpha, t_e)} \quad (8.5)$$

Donde, A_{col} depende de la demanda anual de refrigeración, el enfriamiento que entrega la máquina de frío solar y esto a su vez de muchos otros parámetros. La figura (8.1), es una representación de la ecuación anterior. Se da un valor fijo de la demanda de refrigeración de un edificio (calculado suponiendo el uso de un equipo convencional). Los diferentes tamaños de la máquina de refrigeración por absorción s con sus correspondientes tamaños del campo de colectores solares A_{col} se muestran en la figura. En cualquier caso, proporcionan la misma demanda fija de enfriamiento anual. La diferencia entre cada par $\{s, A_{col}\}$ es la distribución anual de la refrigeración.

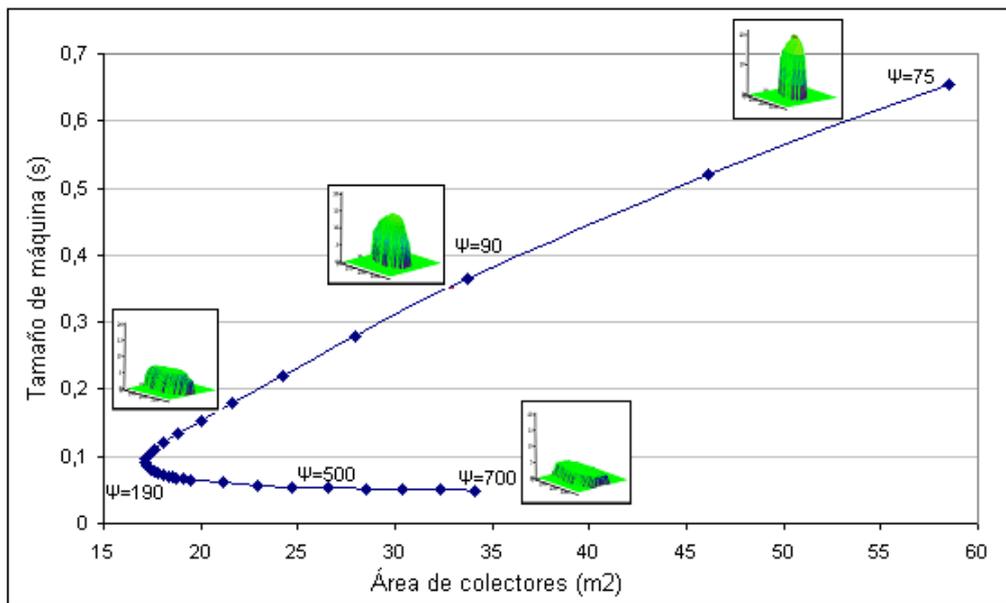


Figura 8.1: Tamaño de máquina (s en kW/K) versus área de colectores, para $t_e = 5^\circ C$.

8.3.1. Diseño óptimo para cubrir la mayor cantidad de demanda en refrigeración del edificio

Debido a las muchas variables y parámetros que influyen en la función de salida, en este caso la optimización se hace de una manera simple o heurística.

El proceso es el siguiente. Primero se estima la demanda de refrigeración del edificio con un sistema convencional, luego se realiza un pre-diseño del sistema solar (o, en definitiva, el par inicial $\{s, A_{col}\}$) se consigue de acuerdo con la discusión de la sección anterior, finalmente se procede a simular el edificio, en este caso, como ejemplo la simulación se realiza en Valencia. El edificio utilizado se muestra en la figura(8.3), en las tablas (8.1 y 8.2) enseñan los datos geométricos y sus composiciones constructivas. Dado que la refrigeración solar se encuentra siempre encendida, es necesaria una búsqueda de los pares $\{s, A_{col}\}$ en torno al valor inicial de pre-diseño. Para A_{col} el intervalo de iteración es de (17 a $120 m^2$), sin embargo para el tamaño de la máquina los valores de iteración se hallan entre $\psi = 50$ a $700 m^2 K/kW$. Para cada nuevo par $\{s, A_{col}\}$ la simulación se realiza con el fin de descubrir cuál coincide con la mayor demanda de refrigeración. Además, la relación entre los gastos Rc permite una estimación del costo.

La figura (8.2), se comparan dos puntos posibles de diseño {1 y 2}.

Para el primer punto, la máquina tiene un $\psi = 75 m^2 K/kW$, potencia anual de refrigeración de $10007.6 kWh$ ($36027.5 MJ$), cuya potencia máxima de refrigeración es $37.4 kW$ y el área de captadores de $59 m^2$ (lado derecho de la figura 8.2) y el segundo punto, la máquina tiene un $\psi = 190 m^2 K/kW$, la potencia anual de refrigeración de $9605 kWh$ ($34578 MJ$), la potencia máxima de refrigeración de $6.07 kW$ y el área de captadores de $17.1 m^2$ (parte de convergencia de la curva,

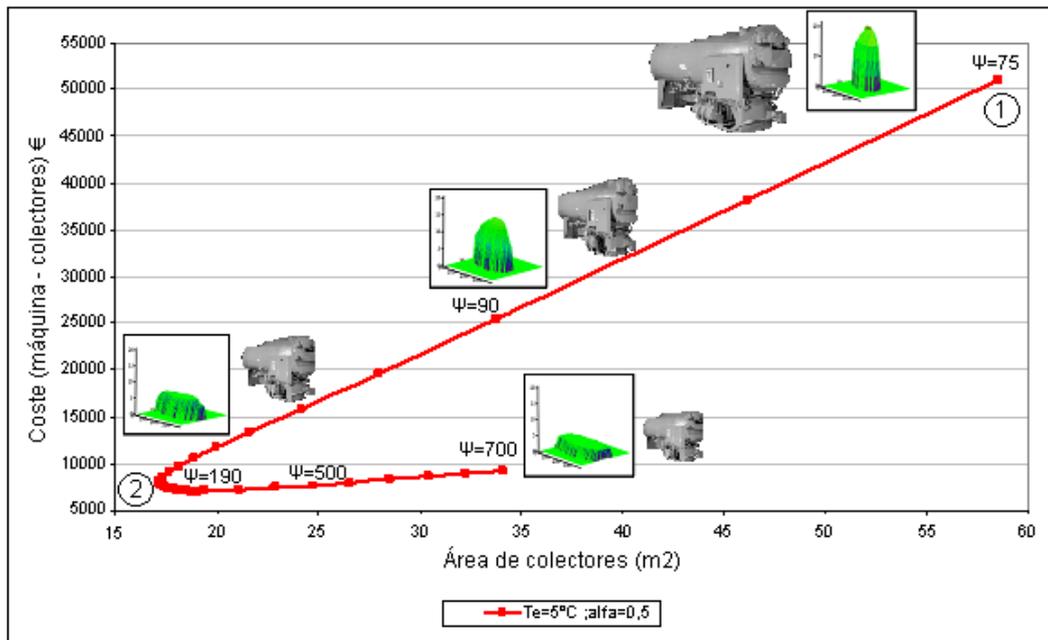


Figura 8.2: Relación costo en función de área de colectores, tamaño de máquina, producción de frío anual, día juliano y la hora solar, con $t_e = 5^\circ\text{C}$.

ver figura 8.2).

Las figuras (8.4 y 8.5) se observa el acople del sistema en los 2 puntos de funcionamiento, además recordar que en los dos puntos de comparación se pretende abastecer la mayor demanda posible de refrigeración. Para la época de invierno se aprovecha la instalación de captadores solares para generar agua caliente a 35°C y esta cubrirá la demanda de calefacción del edificio.

En el primer punto de estudio (figura 8.4) se consigue un mejor acople que en el segundo caso analizado (figura 8.5). Los resultados de ambas demandas no cubierta por el sistema solar se muestran en la tabla (8.3), donde claramente se puede ver, en el primer punto de estudio el ahorro energético total de calefacción y refrigeración es del 51.4 %, sin embargo, en el segundo punto analizado el ahorro energético es menos venidero se tiene un ahorro del 15.2 %, todo ello respecto al estado inicial del edificio.

Por desgracia, como el punto de diseño se acerca al punto de mayor eficiencia anual del sistema solar (segundo caso), la cobertura de la demanda de energía debido a la casa es la peor, debido a la diferente distribución anual, entre la producción de frío solar y la demanda de refrigeración. En otras palabras, debido a un mal partido entre la oferta y la demanda del servicio de refrigeración.

8.3.1.1. Cambio de la temperatura de evaporación

Al igual que el anterior caso estudiado, el siguiente se hace variar las condiciones de servicio o entrega de frío, es decir de 5°C a 14°C . ¿Cómo modifica

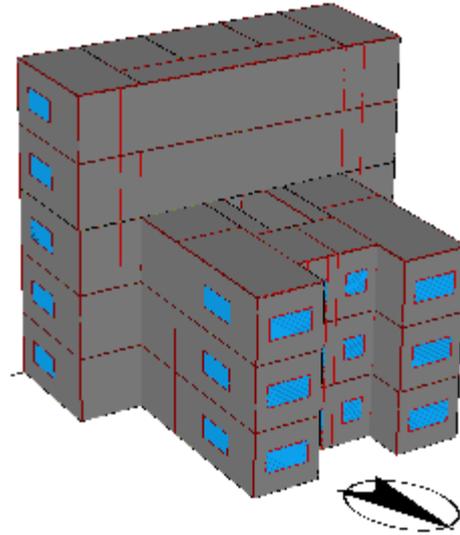


Figura 8.3: Vivienda en bloque “B2”.

Tabla 8.1: Superficie de los diferentes cerramientos (m^2), del edificio en bloque “B2” (Valencia).

Tipo edificio	Volumen total m^3	Suelo		Área (m^2) de los elementos opacos						Nº de ventanas en función de sus dimensiones (alto x ancho)				
		habit. m^2	Muros				Cubierta		Suelos		dimensiones (alto x ancho)			
			N	O	S	E	Ext.	Terr.	Ext.	N	O	S	E	
Bloque B2	1959.5	653.2	363.8	166.7	189.3	166.7	164.1	160.3	3.8	6(1x1)	8(1x2)	25(1x2)	8(1x2)	
										6(1x2)				

Tabla 8.2: Coeficientes globales de transmisión de calor de cerramientos opacos y de huecos, edificio en bloque “B2” (Valencia).

Localidad	U(W/m^2K)			Coeficiente global de transferencia calor U(W/m^2K)					
	Muros	Cubierta	Suelos	calor U(W/m^2K)					
	Ext.	Ext.	Terr.	Ext.	Cristal	Macro	Fact.solar	%marco	
Valencia	0.52	0.57	0.99	0.38	3.3	4.0	0.7	10	

Tabla 8.3: Demanda de energía no cubierta por el sistema solar, vivienda en bloque “B2” $t_e = 5^{\circ}C$.

Punto de estudio	Demanda anual refriger. (kWh/m^2)	Demanda anual calefacción (kWh/m^2)	Demanda no cubierta por el sistema solar (kWh/m^2)	Ahorro energético total
Edificio original	15.2	26.35	41.55	0 %
1er punto	1.78	18.37	20.2	51.4 %
2do punto	9.8	25.4	35.2	15.2 %

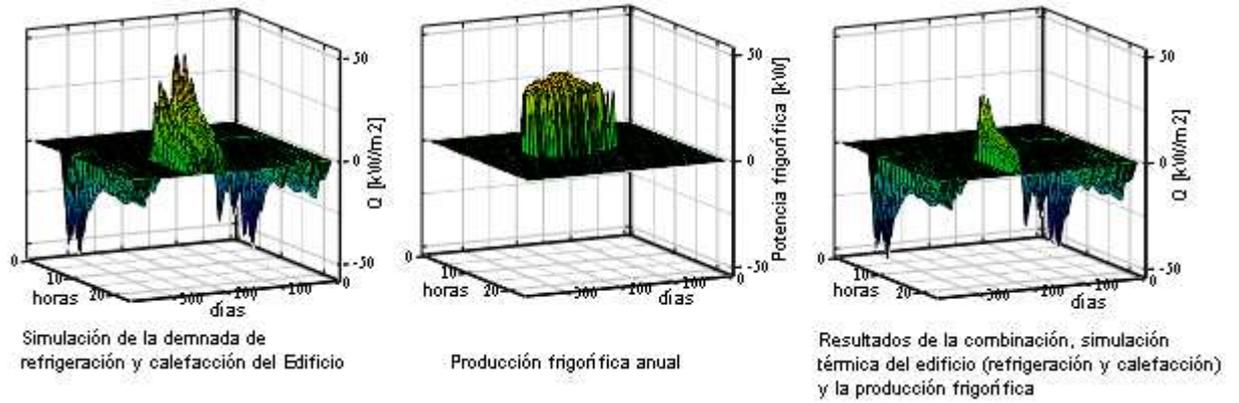


Figura 8.4: Demandas de calefacción, refrigeración y producción frigorífica para $A_{col} = 59\text{m}^2$, $t_e = 5^\circ\text{C}$ y $\psi = 75\text{m}^2\text{K kW}^{-1}$.

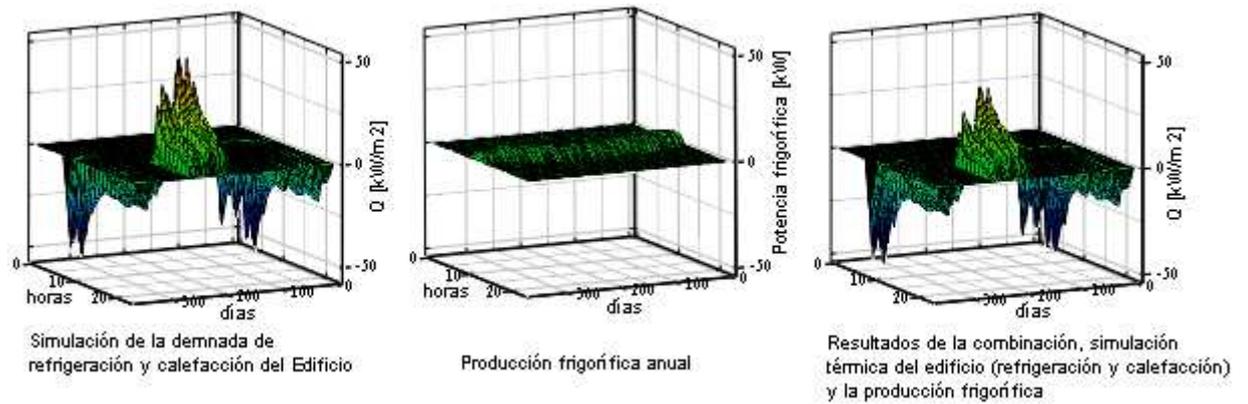


Figura 8.5: Demandas de calefacción, refrigeración y producción frigorífica para $A_{col}=17.1\text{m}^2$, $t_e = 5^\circ\text{C}$ y $\psi = 190\text{m}^2\text{K kW}^{-1}$.

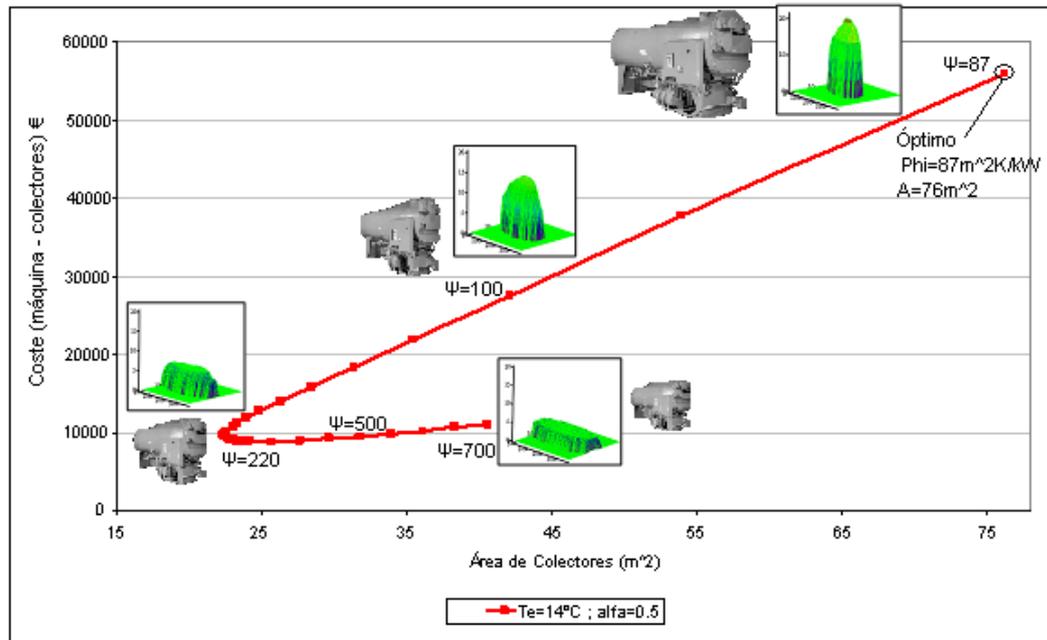


Figura 8.6: Relación costo en función de área de colectores, tamaño de máquina, producción de frío anual, día juliano y la hora solar, con $t_e = 14^{\circ}C$.

los resultados anteriores a esta decisión? La gráfica (8.6), muestra el área de captadores, tamaño de máquina y la potencia frigorífica en cada una de las combinaciones. El enfoque heurístico lleva a un mejor diseño que cubre la mayor cantidad demanda de frío:

Para $t_e = 14^{\circ}C$ la máquina es: $\psi = 87m^2K/kW$, la potencia anual de refrigeración de $20198.5 kWh$ ($72714.6MJ$), la potencia máxima de refrigeración de $49.3 kW$, área de captadores es de $76.2 m^2$ (parte superior de la gráfica 8.6), en similitud al anterior caso estudiado, la potencia frigorífica solar debe ser concentrado en los meses de verano para compensar adecuadamente la demanda de refrigeración.

Al comparar los valores óptimos entre las gráficas (8.2 y 8.6), se determina que el área de captadores solares incrementan en un 25 % más en tamaño para la temperatura de evaporación de $14^{\circ}C$ para Valencia, valor que difiere en función de la zona climática (ver tabla 8.7). De la misma forma se incrementa el tamaño de la máquina y los costes de la instalación, en 14 y 20 % respectivamente, en comparación con la temperatura de evaporación de $5^{\circ}C$.

Se cubre mayor porcentaje de la demanda de frío, con la temperatura de $5^{\circ}C$ que a $14^{\circ}C$, la demanda anual de refrigeración no cubierto por el sistema solar en los dos caso son: $1.78 kW/m^2$ a $2.13 kW/m^2$ respectivamente.

La demanda de calefacción satisfecha con el sistema solar es mejor a temperaturas altas de evaporación. Puesto que el diseño da lugar a un mayor campo de colectores (25 % más grande en $t_e = 14^{\circ}C$) ver tabla (8.4).

Conclusiones del diseño óptimo:

Tabla 8.4: Valores óptimos de A_{col} y “ s ” más la demanda de energía no cubierta por el sistema solar en el bloque “B2” (Valencia), con $t_e = 5^{\circ}C$ y $t_e = 14^{\circ}C$.

Temp. evaporación	Área (m^2)	ψ (m^2K/kW)	Demanda anual refriger. (kWh/m^2)	Demanda anual calefacción (kWh/m^2)	Demanda no cubierto por el sistema solar (kWh/m^2)	Ahorro energía total
Óptimo a $5^{\circ}C$	59	75	1.78	18.37	20.2	51.4 %
Óptimo a $14^{\circ}C$	76	87	2.13	16.75	18.8	54.7 %

- **Enfriamiento.** La cobertura óptima se obtiene cuando el enfriamiento se concentra durante el período de verano (parte superior de las curvas). Hay otro diseño que produce enfriamiento a mayor eficiencia, pero no coincide con la demanda de refrigeración del edificio (representado por el punto donde converge la curva). En cualquiera de las dos temperaturas de diseño ($t_e = 5^{\circ}C$ máxima capacidad de refrigeración = $37.34 kW$ y para $t_e = 14^{\circ}C$ la máxima capacidad de refrigeración = $49.3kW$) la demanda de frío se cubre, aproximadamente, en la misma medida, un 88 % de $t_e = 5^{\circ}C$ y 85.9 % para $t_e = 14^{\circ}C$.
- **Calefacción:** La cobertura es función del área de captadores instalados (a mayor área, mayor demanda de calefacción cubierta), en los 2 servicios de acondicionamiento, a $14^{\circ}C$ se tiene más área de captadores instalados que a $5^{\circ}C$, ésto se refleja en la mayor demanda cubierta de calefacción. Los resultados se muestra en la tabla (8.3 y 8.4).
- La demanda restante insatisfecha en los dos casos de estudio, se tienen que cubrir con los sistemas convencionales (Bomba de calor, fan-coils, etc.).

8.3.2. Estudio de un caso simple. Efecto de la orientación de los cristales, de la orientación de los captadores y el aislamiento del edificio

El procedimiento permite estudiar el efecto de algunas decisiones de arquitectura en el sistema de climatización ¿Qué sucede con diferentes tipos de edificios, proyectos arquitectónicos o la mejora de los aislamientos?, en el caso de los colectores solares. ¿Qué orientación es la adecuada para el buen funcionamiento de los colectores?

El edificio de estudio se representa en la figura (8.7), posee un volumen de $2352.9 m^3$, con un suelo habitable de $672.3 m^2$, la superficie de los cerramiento (opacos y huecos) varía en función de la ubicación de los mismos. Para tener una idea en la tabla (8.5 y 8.6), se da valores de los cerramientos opacos, elementos de hueco , y los coeficientes globales de transferencia de calor del edificio.

La demanda anual de energía utilizando el sistema convencional en calefacción es igual a $35.0 kWh/m^2$ año y en refrigeración es $20.5 kWh/m^2$ año (valores de

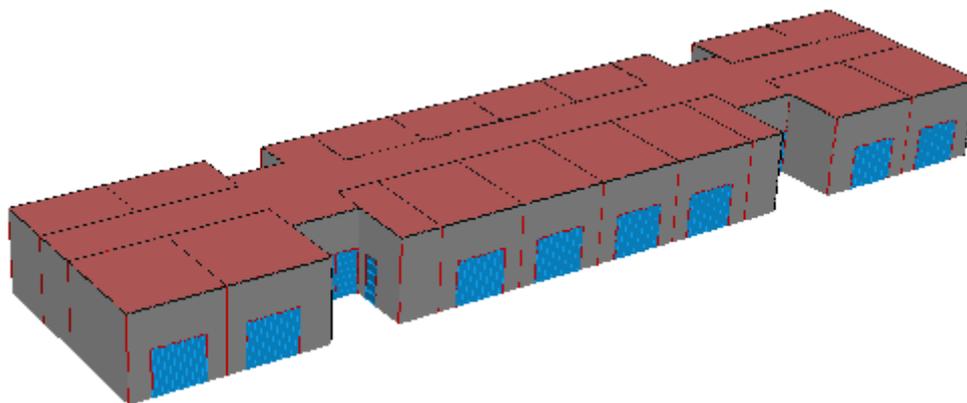


Figura 8.7: Edificio modelo para verificar la tipología y ubicación.

Tabla 8.5: Superficie de los diferentes cerramientos opacos (m^2), mayor superficie acristalada en orientación norte del edificio modelo (Valencia) figura (8.7).

Tipo edificio	Volumen total m^3	Suelo habit. m^2	Área (m^2) de los elementos opacos						Nº de ventanas en función de sus dimensiones (alto x ancho)	
			Muros				Cubierta	Suelos		
			N	O	S	E	Ext.	Terr.	O	E
Unifamiliar	2352.9	672.3	88	109	88	155	672.3	672.3	8(2.8x3);2(2.8x0.75)	11(2.8x1.5) 2(2.8x1.35);2(2.8x1.8)

Tabla 8.6: Coeficientes globales de transmisión de calor de cerramientos opacos y elementos de hueco del edificio modelo figura (8.7).

Localidad	% de hueco sup. exterior	$U(W/m^2K)$			Coeficiente global de transferencia calor $U(W/m^2K)$			
		Muros	Cubierta	Suelos	Cristal	Macro	Fact.solar	%marco
		Ext.	Ext.	Terr.				
Valencia	29.6	0.38	0.48	0.99	2.79	4.0	0.75	10

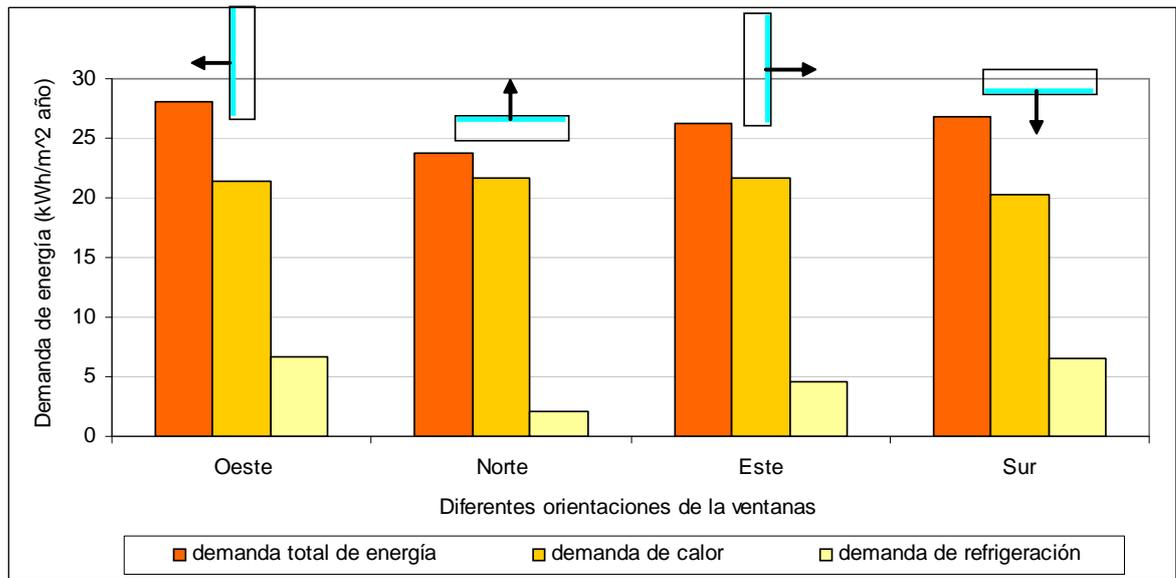


Figura 8.8: Demanda de energía total para diferentes orientaciones de la superficie más acristalada del edificio.

referencia para la comparación), sumadas las dos demandas se tiene 55.5 kWh/m^2 año.

La figura (8.8) muestra los resultados de la demanda total del edificio, tras ubicar la mayor área de elementos de huecos (ventanas y puertas) en las orientaciones {E, O, N, S}. De los cuatro casos analizados, para esta latitud (hemisferio norte), lo recomendable es ubicar en orientación norte.

El ahorro energético que se consigue al ubicar el edificio (mayor superficie acristalada) en la orientación sur o norte es de 4.42 kWh/m^2 año. Por tanto, si influye la orientación solar que tienen los cerramientos opacos, huecos y la cantidad de superficie que existe en esta orientación. Además de la orientación es muy importante la composición del cerramiento (efecto de estudio más adelante). Ante la misma excitación, el comportamiento de un muro frente a otro es distinto si ambos difieren en su composición.

A continuación, en el edificio (mayor área de elementos de huecos orientados al norte), se dispone a ubicar los captadores solares en diferentes orientaciones, para obtener la mayor potencia de refrigeración.

En la figura (8.9) se aprecia el efecto que tienen la ubicación de los captadores en diferentes azimut, siendo las más eficientes en orientación sur (azimut 0°) y orientación sur este (azimut -15°), que básicamente consiste en instalar los captadores de frente a la salida del sol.

Por último, en el edificio con las ventanas que dan al norte y con los colectores solares hacia el sur-este, se analiza la mejora del aislamiento en los cerramientos opacos y elementos de hueco, mejorando el aislante en un 20, 40 y 60%, que corresponde de aislar 4cm. a pasar a aislar 7.2cm. para el caso de los cerramientos opacos, y en los elementos de huecos se reemplaza las propiedades de vidrios, es

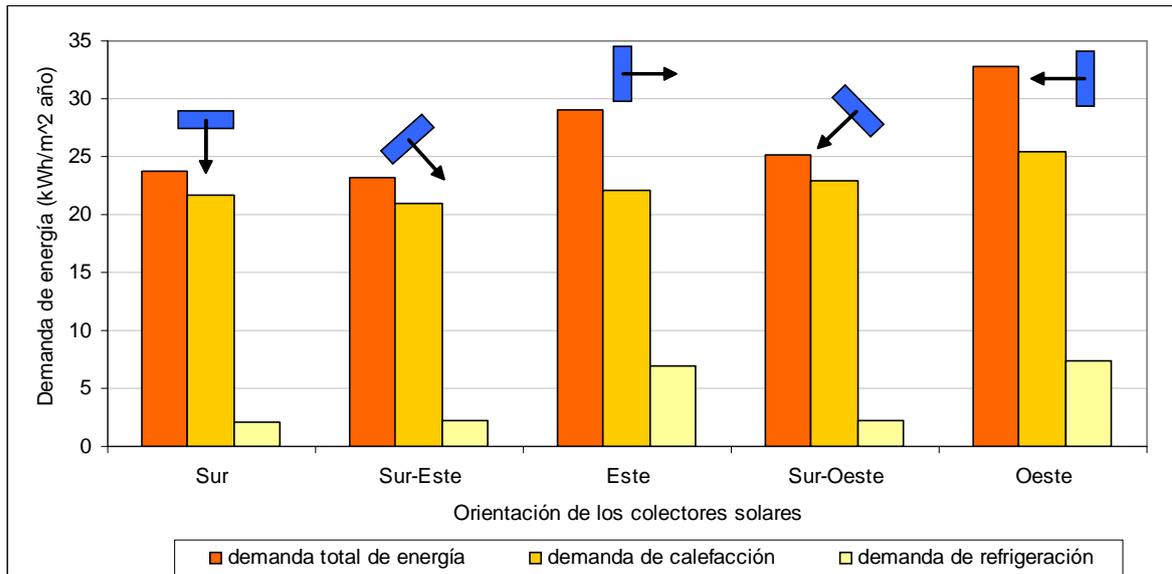


Figura 8.9: Demanda de energía total del edificio, para diferentes orientaciones de los captadores solares.

decir el U del vidrio de un $U=3.3 \text{ W/m}^2\text{K}$ a un $U = 1,32\text{W/m}^2\text{K}$.

Los resultados de la figura (8.10) son concluyentes, mejorar el aislante en los elementos opacos del edificio trae consigo minorar el consumo de energía, sin embargo, no pasa lo mismo al mejorar las propiedades térmicas de los cristales (U), es decir, a mejor U de los cristales, más alta es la dificultad para evacuar la carga radiante, transformada en carga de convección. Por tanto las ventanas producen un efecto invernadero.

La reducción de consumo de energía es representativa, producto de ubicar en una orientación adecuada tanto del edificio como los captadores solares e incrementar el aislante de los cerramientos opacos. Se consigue reducir de 55.5 a 13.39 kWh/m^2 año, disminución que representa en más del 76 % de ahorro del consumo la energía.

8.4. Optimización del sistema de refrigeración solar

La optimización de la refrigeración solar se realiza para diferentes tipos de edificios en España. Los edificios utilizados se ven reflejado en el Anexo C, que corresponden a las viviendas modelos que fueron utilizados para desarrollar los programas de certificación energética (programa LIDER, CALENER VYP) referencia [16], las cuales son 3 viviendas unifamiliares (U1,U2 y U3) y los 3 siguientes (B1, B2, B3) corresponden a viviendas en bloque.

Para las diferentes zonas climáticas de España en las tablas (6.1 y 6.2) del capítulo 6, se facilitan los coeficientes globales de transferencia de calor $U(\text{W/m}^2\text{K})$,

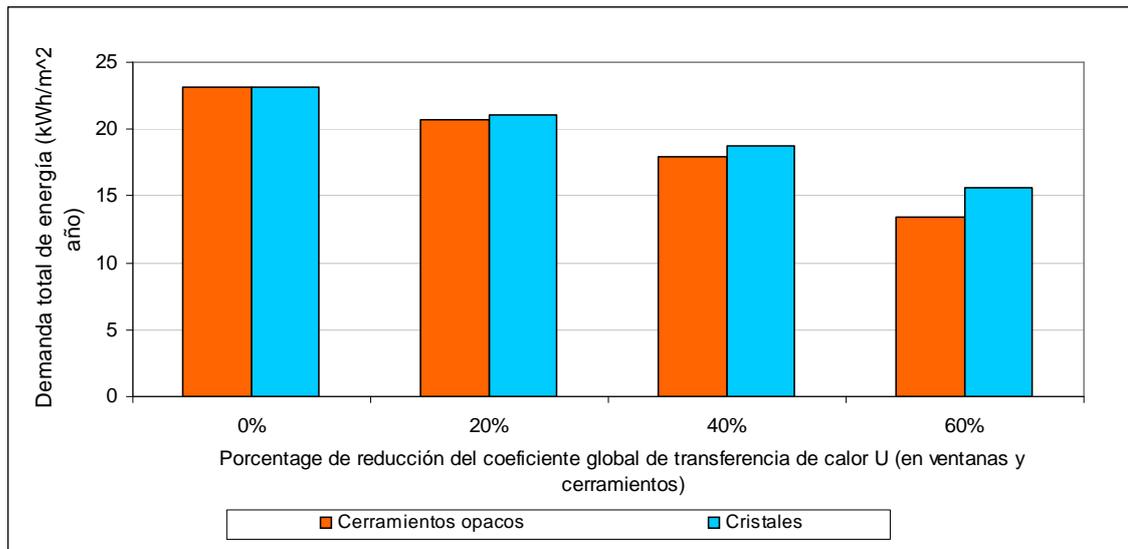


Figura 8.10: Demanda de energía al reducir el aislamiento de cerramientos opacos y elementos de huecos.

para cerramientos opacos y elementos de huecos. Dichos coeficientes se han calculado suponiendo que los cerramientos dan al exterior en todos los casos.

Con el criterio de optimización heurístico, en las tablas (8.7, 8.8 y 8.9) se determina la combinación óptima de área de captadores y ψ , para los 6 edificios y las en las diferentes zonas climáticas de España.

Para la temperatura de evaporación de 5°C , los valores óptimos de ψ se hallan entre 70 a $95 \text{ m}^2\text{K}/\text{kW}$ para casi todas las zonas climáticas, excepto Zamora, por ser una ciudad donde demanda poca energía en verano (zona climática D2). Según la normativa española las ciudades que corresponden a zonas climáticas 1 (Burgos, Bilbao y Vitoria), las viviendas del tipo residencial (unifamiliar o en bloque), no demandan energía en refrigeración, por tanto, no se consideran en este capítulo.

En zonas climáticas más severas en verano, es donde deben instalarse mayor área de colectores (Almería, Cádiz, Sevilla).

Para la temperatura de evaporación de 14°C los valores óptimos de ψ y área de captadores solares se indican en la tabla (8.8). En este caso los valores oscila entre 85 a $100 \text{ m}^2\text{K}/\text{kW}$. Comparando con el caso anterior (tabla 8.8 con la tabla 8.7), el tamaño de área de captadores se incrementa en un valor promedio de 50% , de acuerdo a la zona climática, de la misma manera varía ψ y el tamaño de la máquina de absorción no esta claro, en muchas de las veces es prácticamente igual, o más grande, y en algunos casos más pequeña.

Las tablas (8.7 y 8.8), se analizó cuando la condensación del equipo de absorción se realiza mediante una torre de refrigeración. Sin embargo, se ha contemplado la posibilidad de utilizar un intercambiador de calor enterrado (lo que llaman algunas personas como energía geotérmica). La tabla (8.9) muestra los resultados.

Los resultados del diseño óptimos, al variar el tipo de condensación de la

Tabla 8.7: Tabla de valores óptimos de área de captadores y ψ para edificios oficiales y diferentes zonas climáticas de España. Condensando con torre de refrigeración, $t_e = 5^\circ C$.

Localidad	Nº renov.	Valores óptimos de área de colectores $A_{col}(m^2)$ y $[\psi(m^2K/kW)]$ en los 6 edificios modelos					
		U1	U2	U3	B1	B2	B3
Almería	0.5	8.2 (85)	11.2 (75)	7.1 (75)	113.5 (70)	72 (75)	32.5 (70)
	1	11.5 (75)	11.3 (75)	7.4 (75)	115.9 (70)	73.6 (75)	33.2 (70)
Barcelona	0.5	4.1 (90)	7.4 (75)	3.4 (75)	40.5 (85)	43.5 (80)	15.9 (80)
	1	3.9 (90)	7.4 (75)	3.8 (75)	42.3 (85)	55.6 (75)	15.2 (80)
Cádiz	0.5	8.1 (75)	8.8 (75)	5.5 (75)	75.6 (75)	56 (75)	18.2 (75)
	1	8 (75)	8.7 (75)	5.6 (70)	67 (75)	50.7 (75)	18.2 (75)
Granada	0.5	5.3 (85)	16.4 (75)	8.2 (75)	115 (75)	104 (75)	36.8 (75)
	1	5.8 (85)	19.2 (75)	8.7 (75)	123.8 (75)	110.3 (75)	39.4 (75)
Madrid	0.5	5.6 (95)	11.5 (80)	6.1 (80)	80.5 (85)	76.3 (80)	28.3 (80)
	1	7 (90)	12.2 (80)	6.3 (80)	83.2 (85)	78.3 (80)	29.1 (80)
Sevilla	0.5	15 (75)	14 (75)	8.8 (75)	118 (75)	91 (75)	35.5 (75)
	1	16.3 (75)	15.6 (75)	7 (80)	127 (75)	97 (75)	38 (75)
Toledo	0.5	9.8 (85)	13 (80)	7.8 (80)	92.4 (85)	84 (80)	31.3 (80)
	1	12.4 (80)	13.6 (80)	8.2 (80)	114.3 (80)	88.2 (80)	33.1 (80)
Valencia	0.5	6.6 (85)	9.1 (75)	4.8 (75)	61.3 (80)	58.7 (75)	21.8 (75)
	1	6.7 (85)	9.1 (75)	5 (75)	78.6 (75)	59 (75)	22.1 (75)
Zamora	0.5	-	2.9 (90)	0.4 (100)	15.6 (105)	10.5 (105)	4 (105)
	1	-	4.1 (85)	0.5 (100)	15.9 (105)	10.1 (105)	4.1 (105)

Tabla 8.8: Tabla de valores óptimos de área de captadores y ψ para edificios oficiales y diferentes zonas climáticas de España . Condensando con torre de refrigeración a $t_e = 14^{\circ}C$.

Localidad	Nº renov.	Valores óptimos de área de colectores $A_{col}(m^2)$ y $[\psi(m^2K/kW)]$ en los 6 edificios modelos					
		U1	U2	U3	B1	B2	B3
Almería	0.5	13,5 (87)	13.4 (87)	8.4 (87)	113 (87)	85.4 (87)	33.3 (87)
	1	13.9 (87)	13,8 (87)	8.7 (87)	115.5 (87)	87.0 (87)	33.1 (87)
Barcelona	0.5	7.5 (90)	11.1 (85)	5.9 (85)	98.8 (85)	87.1 (85)	31.7 (85)
	1	10.6 (85)	10.6 (85)	5.7 (85)	94.5 (85)	83.5 (85)	30.5 (85)
Cádiz	0.5	11.2 (85)	12.3 (85)	7.6 (85)	105.8 (85)	78.4 (85)	25.5 (85)
	1	11.2 (85)	12 (85)	6.9 (85)	94.1 (85)	71 (85)	25.4 (85)
Granada	0.5	8.9 (90)	21.7 (88)	13.2 (87)	117 (87)	137 (88)	48.6 (88)
	1	9.8 (90)	25.3 (88)	14.1 (87)	126.2 (87)	145.9 (88)	52.1 (88)
Madrid	0.5	12.7 (95)	17.7 (90)	6.7 (95)	111.5 (95)	83.6 (95)	42.3 (90)
	1	13.3 (95)	18.2 (90)	6.9 (95)	115.1 (95)	85.8 (95)	43.6 (90)
Sevilla	0.5	22.6 (85)	18.6 (87)	11.1 (87)	149 (87)	81.3 (90)	44.9 (87)
	1	24.5 (95)	19.7 (87)	12.1 (87)	160.7 (87)	86.6 (90)	48 (87)
Toledo	0.5	23.6 (87)	17.5 (90)	8.4 (95)	116.7 (95)	90.9 (95)	33.8 (95)
	1	25.4 (87)	18.3 (90)	8.9 (95)	123.6 (95)	95.4 (95)	35.8 (95)
Valencia	0.5	12.6 (87)	11.6 (87)	6.2 (87)	100.6 (87)	75.8 (87)	28.2 (87)
	1	12.6 (87)	11.7 (87)	6.5 (87)	101.4 (87)	76.2 (87)	28.5 (87)
Zamora	0.5	-	5.6 (95)	0.7 (100)	24.5 (105)	18.9 (105)	6.2 (105)
	1	-	5.6 (95)	0.8 (100)	24.8 (105)	19.1 (105)	6.4 (105)

Tabla 8.9: Tabla de valores óptimos de área de captadores y ψ para edificios oficiales y diferentes zonas climáticas de España. Condensando con geotermia, $t_e = 5^{\circ}C$.

Localidad	N ^o renov.	Valores óptimos de área de colectores $A_{col}(m^2)$ y $[\psi(m^2K/kW)]$ en los 6 edificios modelos					
		U1	U2	U3	B1	B2	B3
Almería	0.5	8.1 (85)	11.1 (75)	7.0 (75)	112.2 (70)	71.5 (75)	32.1 (70)
	1	11.1 (75)	11.2 (75)	7.3 (75)	114.6 (70)	72.8 (75)	33.8 (70)
Barcelona	0.5	4.1 (90)	7.3 (75)	3.9 (75)	42.2 (85)	43.5 (80)	15.8 (80)
	1	3.9 (90)	7.0 (75)	3.7 (75)	40.4 (85)	55.5 (75)	15.2 (80)
Cádiz	0.5	7.9 (75)	8.7 (75)	5.4 (75)	75.2 (75)	55.7 (75)	18.1 (75)
	1	8 (75)	8.6 (75)	5.9 (70)	66.9 (75)	50.5 (75)	18.1 (75)
Granada	0.5	5.2 (85)	16.4 (75)	8.1 (75)	115 (75)	104.3 (75)	36.8 (75)
	1	5.8 (85)	19.1 (75)	8.6 (75)	123.8 (75)	110.2 (75)	39.4 (75)
Madrid	0.5	5.9 (95)	11.8 (80)	6.1 (80)	80.5 (85)	76.2 (80)	28.2 (80)
	1	7.1 (90)	12.1 (80)	6.3 (80)	83.1 (85)	78.3 (80)	29.1 (80)
Sevilla	0.5	15 (75)	14.7 (75)	8.7 (75)	118.1 (75)	91 (75)	35.5 (75)
	1	16.2 (75)	15.7 (75)	7.0 (80)	127.2 (75)	97 (75)	38 (75)
Toledo	0.5	9.8 (85)	13.0 (80)	7.7 (80)	92.4 (85)	84 (80)	31.2 (80)
	1	12.4 (80)	13.7 (80)	8.1 (80)	114.2 (80)	88.2 (80)	33.1 (80)
Valencia	0.5	6.6 (85)	8.9 (75)	4.7 (75)	60.9 (80)	58.4 (75)	21.7 (75)
	1	6.7 (85)	9.0 (75)	5.0 (75)	78.1 (75)	58.6 (75)	21.9 (75)
Zamora	0.5	-	2.9 (90)	0.45 (100)	15.6 (105)	12.1 (105)	3.9 (105)
	1	-	4.1 (85)	0.47 (100)	15.9 (105)	12.2 (105)	4.1 (105)

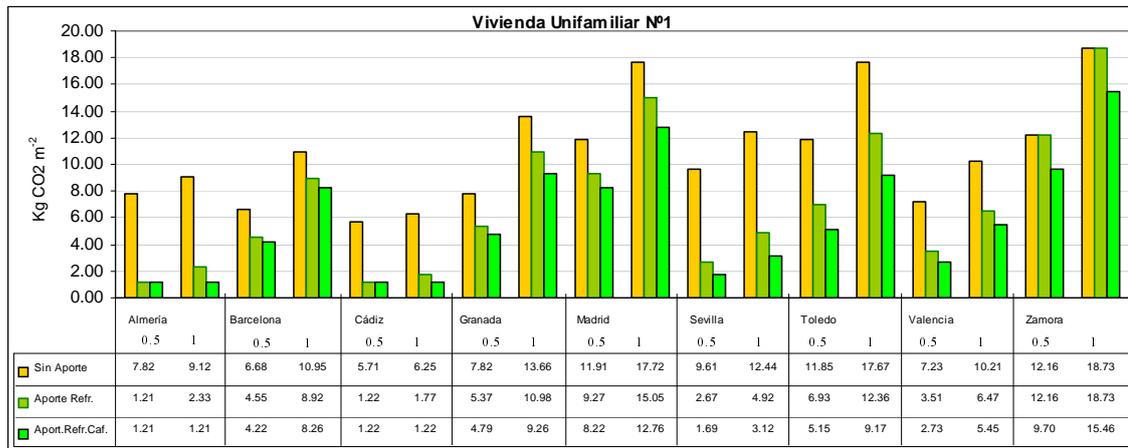


Figura 8.11: Emisiones de $kgCO_2/m^2$ año fósil de la vivienda unifamiliar U1, con número de renovaciones hora de 0.5 y 1, para todas las zonas climáticas.

máquina de absorción (condensación mediante torre de refrigeración o con geotermia) son similares para ambos casos, como se percibe al comparar las tablas (8.7 y 8.9). La variación fundamental en la elección del tipo condensación, se centra en el coste de la instalación y el mantenimiento de ambos sistemas, puesto que la torre de refrigeración tendrá mayor coste de mantenimiento que de instalación y el sistema de geotermia tiene un comportamiento inverso.

Los valores óptimos de áreas de captadores solares determinados en tablas precedentes, coinciden con los tamaños de las cubiertas exteriores de los edificios estudiados, por lo que es factible instalarlos en cada uno de los edificios (colectores del tipo de vacío).

8.4.1. Reducción de las emisiones de $kgCO_2/m^2$ año

La gráficas (8.11 a la 8.16) muestran la reducción de las emisiones de $kgCO_2$ por m^2 para los diferentes edificios (unifamiliares y en bloque). Resultados que se presentan en 3 aplicaciones:

1. El edificio utiliza sistemas convencionales para la climatización.
2. Solo se hace uso del frío solar para cubrir la demanda de refrigeración.
3. El sistema de frío solar y captadores fototérmicos, cubre las demandas de refrigeración y calefacción.

El estudio se realiza para dos números de renovaciones horas de 1 y 0.5, los resultados 2 y 3 se realiza con el dimensionamiento óptimo realizado en el anterior apartado (se utiliza la tabla 8.7).

En ciudades como Almería, Cádiz, Sevilla, el aporte de frío solar es mucho más notorio que las otras zonas climáticas.

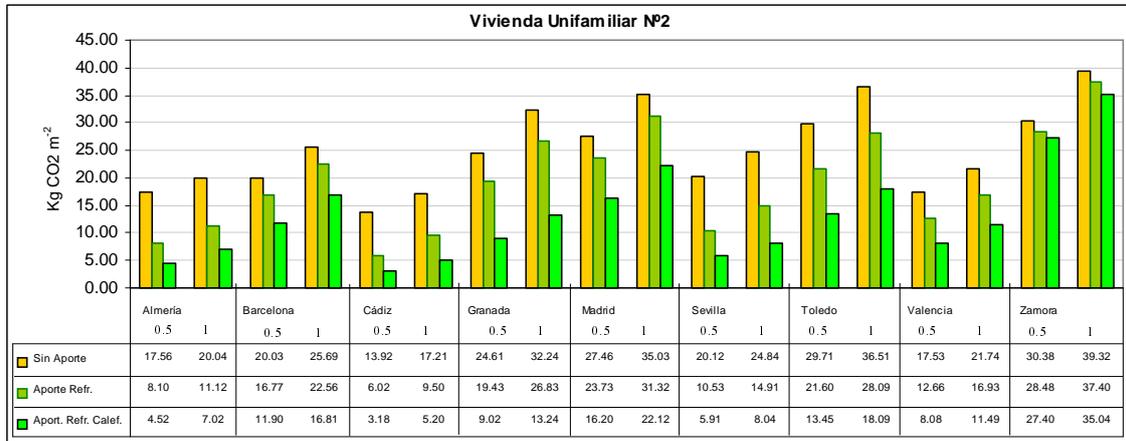


Figura 8.12: Emisiones de $kgCO_2/m^2$ año fósil de la vivienda unifamiliar U2, con número de renovaciones hora de 0.5 y 1, para todas las zonas climáticas.

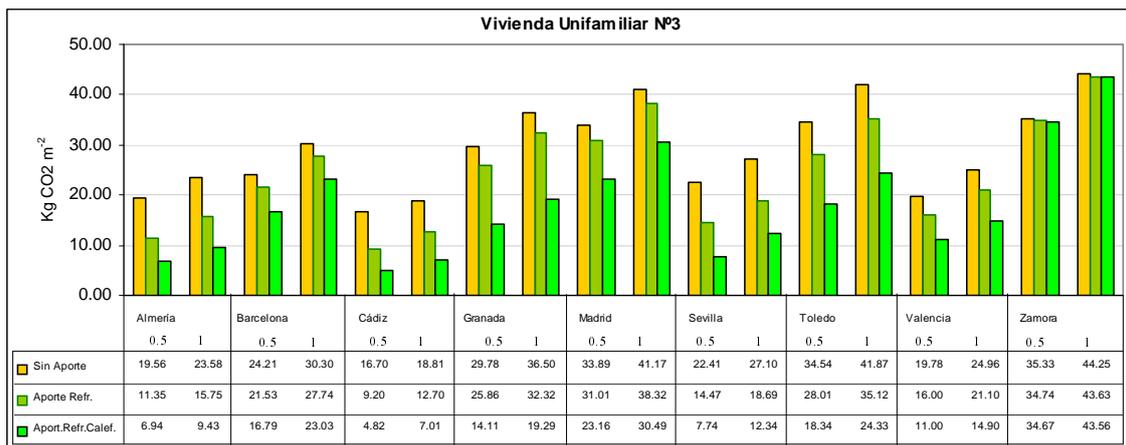


Figura 8.13: Emisiones de $kgCO_2/m^2$ año fósil de la vivienda unifamiliar U3, con número de renovaciones hora de 0.5 y 1, para todas las zonas climáticas.

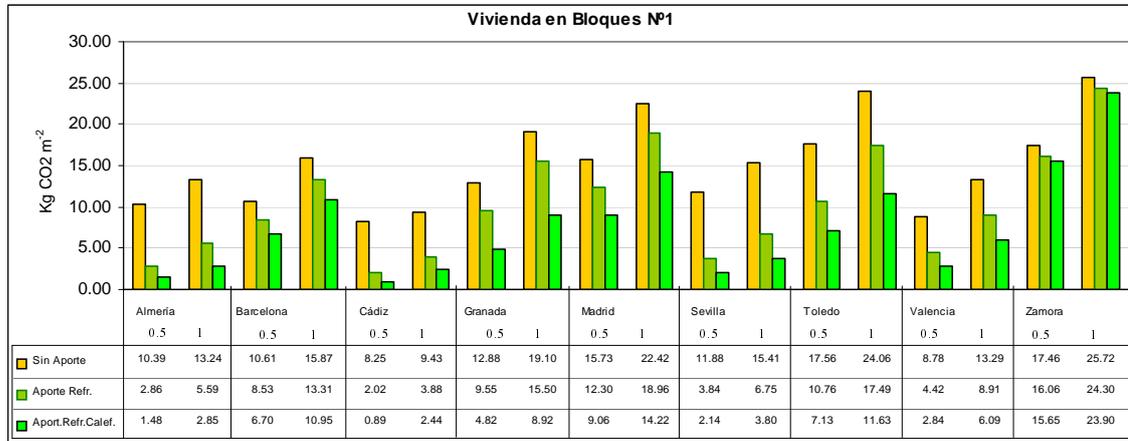


Figura 8.14: Emisiones de $kgCO_2/m^2$ año fósil de la vivienda en bloque B1, con número de renovaciones hora de 0.5 y 1, para todas las zonas climáticas.

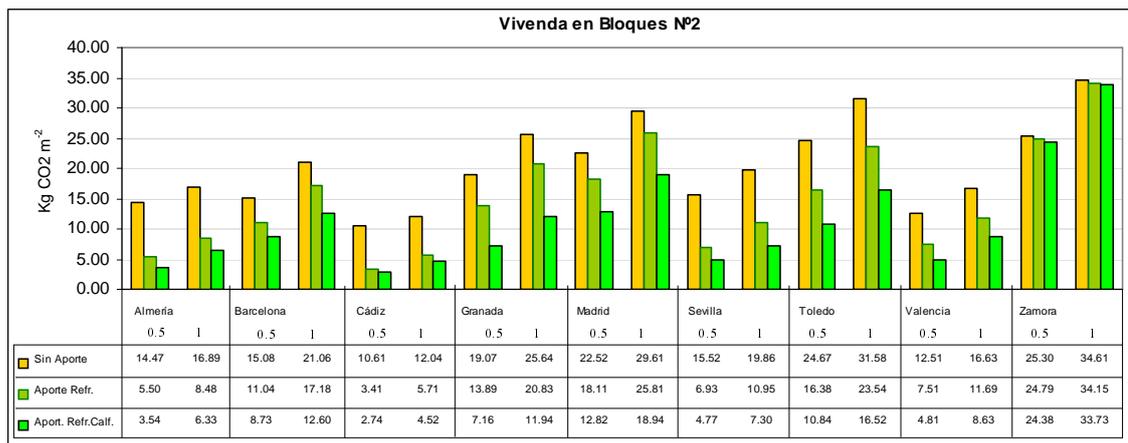


Figura 8.15: Emisiones de $kgCO_2/m^2$ año fósil de la vivienda en bloque B2, con número de renovaciones hora de 0.5 y 1, para todas las zonas climáticas.

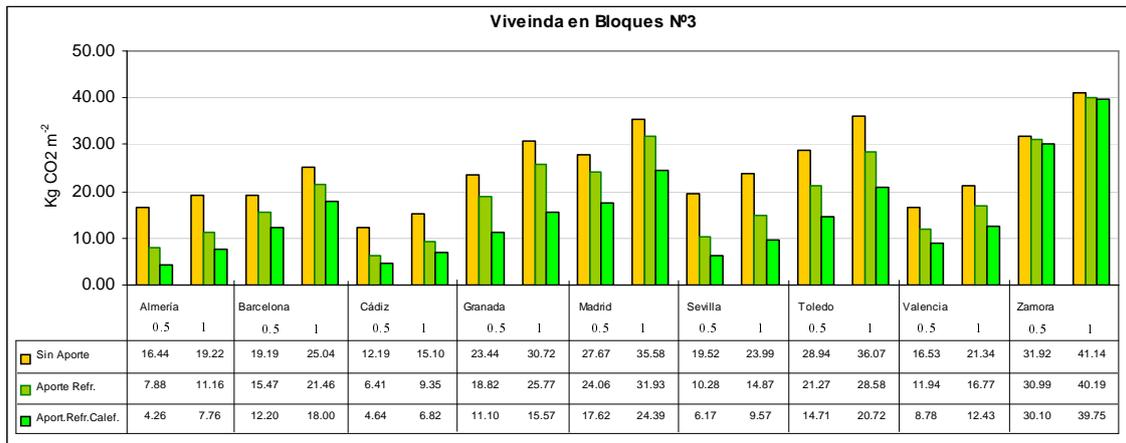


Figura 8.16: Emisiones de $kgCO_2/m^2$ año fósil de la vivienda en bloque B3, con número de renovaciones hora de 0.5 y 1, para todas las zonas climáticas.

8.4.2. Efecto sobre la calificación energética, por el uso del sistema de refrigeración solar sobre los edificios originales

En las figuras (8.17 y 8.18) se muestra el mapa español, donde se observa el cambio de la letra (“A” pocas emisiones de CO_2 fósiles y “G” altas emisiones de CO_2 fósil), estudio realizado en los edificioe de bloque y unifamiliares, situado en diferentes lugares de la geografía de España, al aplicar el frío y la calefacción solar, con $t_e = 5^{\circ}C$. A la derecha de la figura se muestran el par de valores de diseño del sistema solar (área de colectores m^2 y $\psi m^2K/kW$).

Los resultados para las diferentes zonas climáticas en todos los casos excepto Zamora, se mejora como mínimo una letra o más, en las ciudades de Almería, Cádiz, Sevilla, la mejora es de dos y tres letras, las nueva calificación oscila entre C y A.

Así mismo en las figura (8.19, 8.20) se tiene resultados del cambio de letra, en esta ocasión la temperatura de evaporación es de $14^{\circ}C$. A esta temperatura de evaporación el comportamiento de los resultados son parecidos al caso anterior. La diferencia se encuentra en el diseño del sistema solar (valores mayores de ψ y área de captadores).

8.4.3. Efecto sobre la calificación energética, mejorando el aislamiento de los edificios más el uso del acondicionamiento solar

A los edificios originales se mejora el aislamiento de los cerramiento opacos, mejora que representa un 40 % más respecto al estado inicial (valores que se muestran en las tablas 6.1 y 6.2) en todos los casos. Para tener una idea, el edificio inicial en Valencia tiene un aislante de espesor 4cm. y se incrementa a 7.2cm. En



Figure 8.17: Calificación energética en edificios oficiales + sistema de frío y calor solar. Para 0.5 renovaciones hora y $t_e = 5^{\circ}C$. Nomenclatura: [Tipo de construcción], [Letra de certificación: con el sistema convencional -> con sistema de refrigeración solar], área de captadores solares m^2 y ψ m^2K/kW .

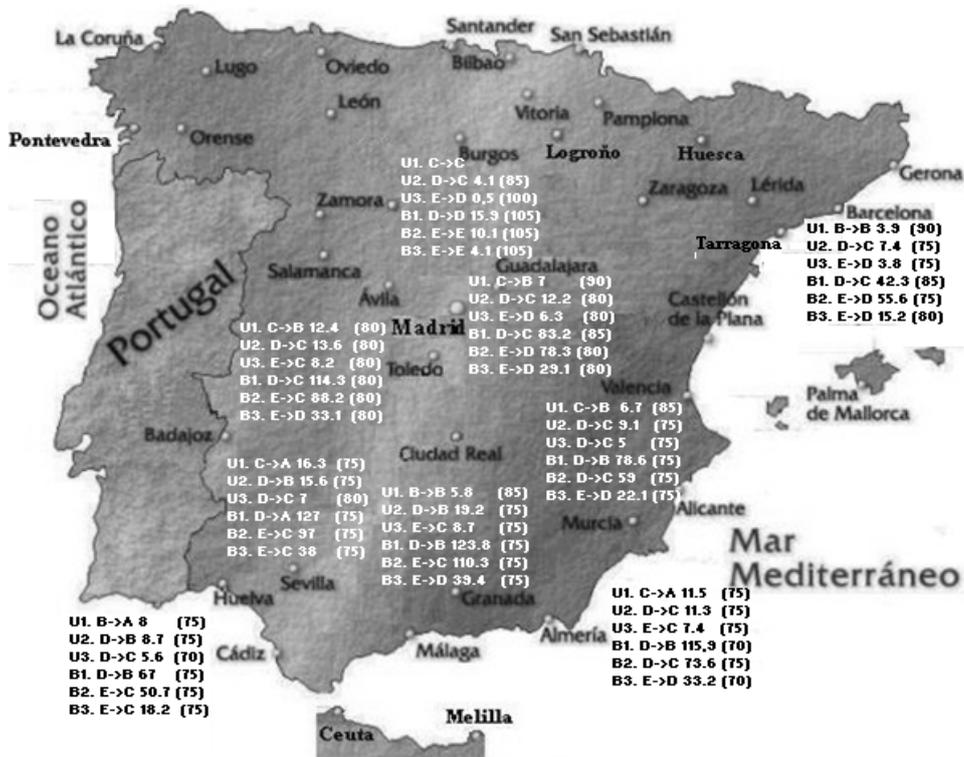


Figure 8.18: Calificación energética en edificios oficiales + sistema de frío y calor solar. Para 1 renovaciones hora y $t_e = 5^{\circ}C$. Nomenclatura: [Tipo de construcción], [Letra de certificación: con el sistema convencional -> con sistema de refrigeración solar], área de captadores solares m^2 y ψ m^2K/kW .

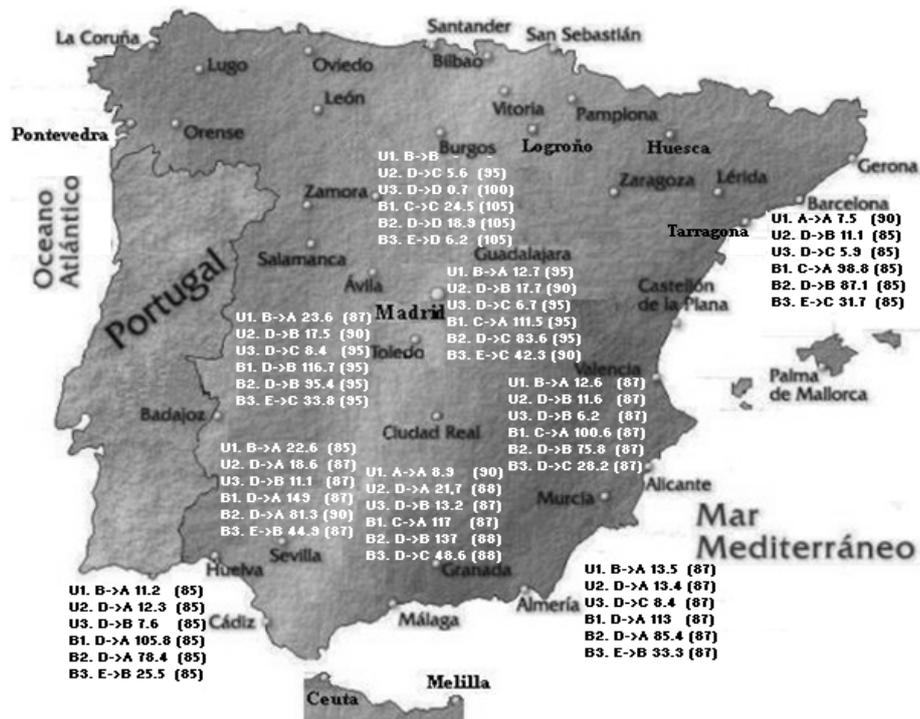


Figura 8.19: Calificación energética en edificios oficiales + sistema de frío y calor solar. Para 0.5 renovaciones hora y $t_e = 14^{\circ}C$. Nomenclatura: [Tipo de construcción], [Letra de certificación: con el sistema convencional -> con sistema de refrigeración solar], área de captadores solares m^2 y $\psi m^2K/kW$.



Figure 8.20: Calificación energética en edificios oficiales + sistema de frío y calor solar. Para 1 renovaciones hora y $t_e = 14^{\circ}C$. Nomenclatura: [Tipo de construcción], [Letra de certificación: con el sistema convencional -> con sistema de refrigeración solar], área de captadores solares m^2 y $\psi m^2K/kW$.

Tabla 8.10: Mejora en un 40 % el coeficiente global de transferencia de calor U en cerramientos opacos respecto al valor que cumple HE1.

Localidad	Coeficientes globales de transferencia de calor U (W/m^2K)						
	Muro		Cubierta		Suelo	Otro Muro	
	Ext.	Cont. Terr.	Ext.	Burd.Ext.	Terr.	Ext.	Ext.Adiab.
Almería	0.32	0.36	0.25	0.24	0.36	0.24	1.00
Barcelona	0.22	0.22	0.2	0.17	0.23	0.17	1.00
Cádiz	0.32	0.36	0.25	0.24	0.36	0.24	1.00
Granada	0.24	0.22	0.2	0.17	0.22	0.17	1.00
Madrid	0.23	0.36	0.24	0.17	0.36/0.23	0.17	1.00
Sevilla	0.21	0.36	0.24	0.15	0.36/0.37	0.15	1.00
Toledo	0.24	0.22	0.2	0.17	0.23	0.17	1.00
Valencia	0.21	0.36	0.24	0.15	0.36/0.37	0.15	1.00
Zamora	0.21	0.23	0.2	0.17	0.23	0.17	1.00

la tabla (8.10) se da los nuevos valores de coeficiente global de transferencia de calor. En las ventanas de los edificios se mejora el factor solar en verano en un 50 % (en la práctica es utilizar elementos de protección como son: cortinas, toldos o lamas), los nuevos valores se proporcionan en la tabla (8.11).

La mejora del nivel de aislamiento y el cambio del tipo de cristal, en la figura (8.21-8.22) se reflejan resultados de la migración de la letra de la certificación energética (recodar que en este caso el edificio usa un sistema convencional), los resultados presentados son para 0.5 y 1 renovaciones hora.

Aquí se puede mostrar la importancia de aislar mejor los edificios, especialmente en las zonas climáticas frías de España (Zamora, Madrid, Barcelona, Granada) donde los resultados son favorables.

Partiendo del edificio mejorado en su envolvente, se instala el sistema de acondicionamiento solar, los nuevos resultados se muestran en las figuras (8.23-8.24), valores obtenidos para 0.5 y 1 renovaciones hora.

Los resultados son evidentemente notorios, en todos los casos se cambia entre una letra o superior, en el caso de las ciudades más cálidas como son: Almería, Cádiz, Granada y Sevilla se alcanza certificación energética "A" en todos los edificios con 0.5 renovaciones hora (figura 8.23), sin embargo, en ciudades intermedias de alcanza la "B" y eventualmente la "C" en otras ciudades.

8.4.4. Reducción de la demanda total (Frío + Calor)

La reducción de la demanda se expresa en porcentaje, que viene a ser el resultado de la comparación de la demanda total del edificio original que utiliza el sistema de acondicionamiento convencional (de acuerdo a la normativa española) y un edificio más aislado o/no que funciona con un sistema de climatización solar.

Tabla 8.11: Mejora en un 50 % del factor solar, aplicado solo para verano y un 50 % el coeficiente global de transferencia de calor U en elementos de huecos respecto al valor que cumple HE1.

Localidad	Coeficiente global de transferencia de calor $U [W/m^2K]$				% de marco
	Cristal	Marco	Factor solar		
			Invierno	Verano	
Almería	3.3	4.0	0.75	0.375	10
Barcelona	2.8	3.5	0.75	0.375	10
Cádiz	3.3	4.0	0.75	0.375	10
Granada	2.8	3.5	0.75	0.375	10
Madrid	2.8	3.5	0.75	0.375	10
Sevilla	5.6/3.3	4.0	0.85/0.7	0.42/0.375	10
Toledo	2.8	3.5	0.75	0.375	10
Valencia	5.6/3.3	4.0	0.85/0.7	0.42/0.375	10
Zamora	2.8	3.5	0.75	0.375	10

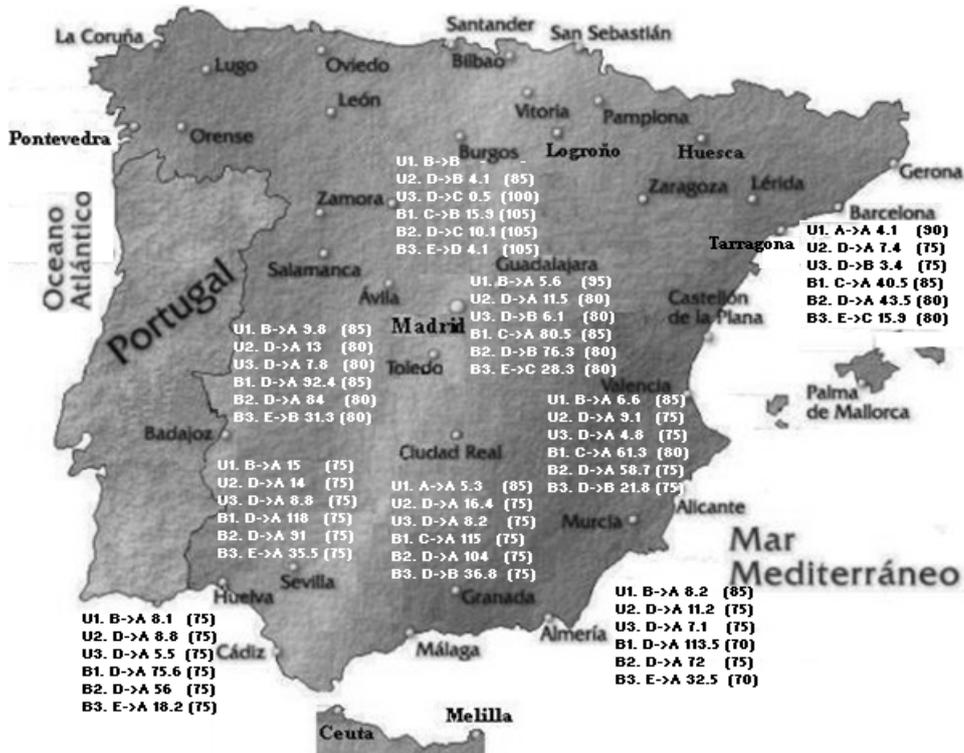


Figure 8.23: Calificación energética de los edificios oficiales con aislamiento mejorado + sistema de frío y calor solar. Para 0.5 renovaciones hora y $t_e = 5^{\circ}C$. Nomenclatura: [Tipo de construcción], [Letra de certificación: con el sistema convencional -> con sistema de refrigeración solar], área de captadores solares m^2 y $\psi m^2K/kW$. (Mejorado el aislante - con refrigeración solar).

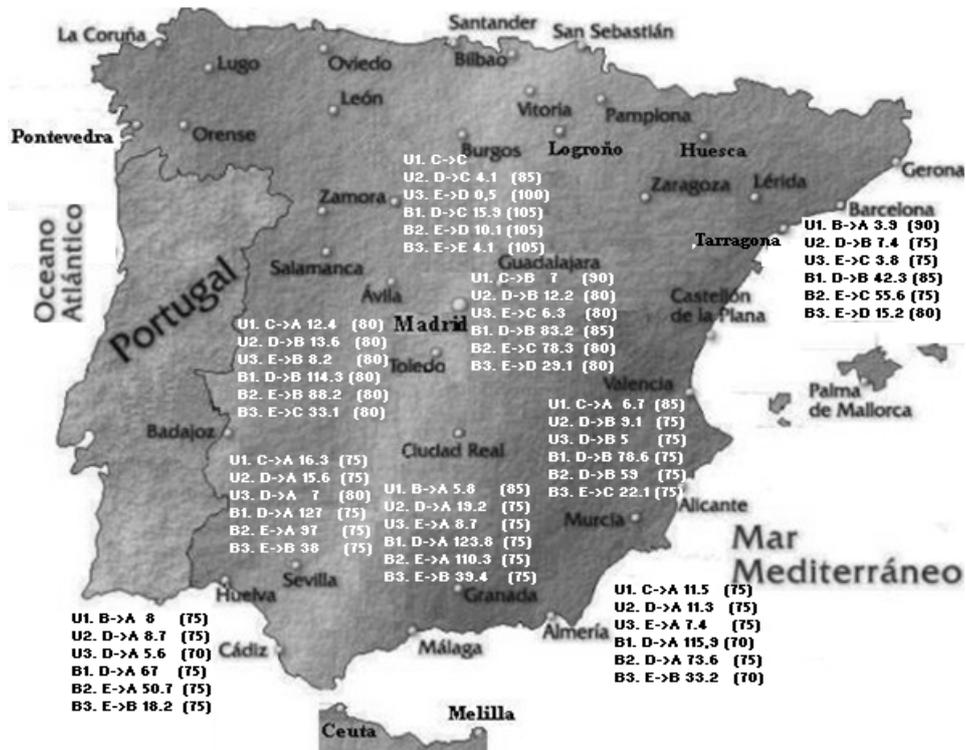


Figure 8.24: Calificación energética de los edificios oficiales con aislante mejorado + sistema de frío y calor solar. Para 1 renovaciones hora y $t_e = 5^{\circ}C$. Nomenclatura: [Tipo de construcción], [Letra de certificación: con el sistema convencional -> con sistema de refrigeración solar], área de captadores solares m^2 y ψ m^2K/kW . (Mejorado el aislante - con refrigeración solar).

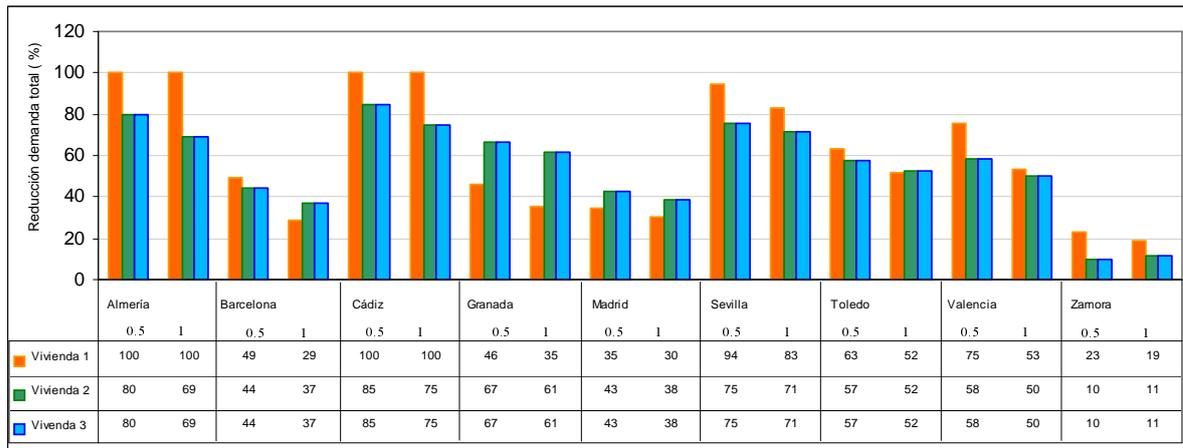


Figure 8.25: Reducción de la demanda total (frío+calor) en (%), para viviendas unifamiliares originales, en diferentes zonas climáticas de España, para 0.5 y 1 renovaciones hora.

8.4.4.1. Viviendas convencionales

Las figuras (8.25 y 8.26) presentan el ahorro tanto para las viviendas como para los edificios en bloque originales, donde se aplica el sistema de acondicionamiento solar. Es evidente que la reducción es mayor en las zonas climáticas cálidas y no tanto así en zonas climáticas frías.

8.4.4.2. Viviendas aisladas

Utilizando nuevos valores de U en cerramientos opacos y hueco tablas (8.10 y 8.11), en los edificios modelo, se obtiene una reducción de la demanda total en todos los edificios, que viene a ser muy favorable en todos ellos, resultados que se muestran en las figuras (8.27 y 8.28). Al igual que en los anteriores casos los resultados más significativos son para las zonas climáticas cálidas (Almería, Cádiz, Sevilla), llegando a reducir en muchos casos el 100% de la demanda total. Así mismo, en zonas menos cálidas como ser Zamora la reducción es menos significativa (en el orden de 19 a 44%).

Implementar este tipo de sistemas es conveniente realizarlo en viviendas de bloque, puesto que tienen mayor superficie acondicionada. El número de familias que ocupan este tipo de viviendas es mayor que en una vivienda unifamiliar, por tanto el costo de la instalación será menos complicado amortizarlo y en menos años.

La decisión en utilizar este tipo de sistema o un otro convencional, se enmarca en el confort térmico que este sistema provee, en relación a los convencionales. Y como acotación al utilizar el sistema no convencional las viviendas mejoran considerablemente la etiqueta energética, por lo cual nos involucramos más en conservar el medio ambiente.

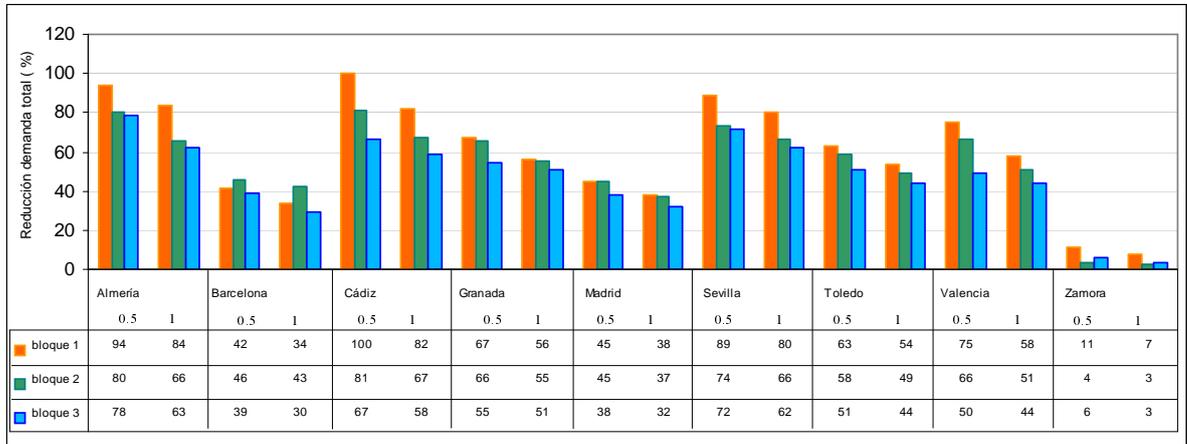


Figure 8.26: Reducción de la demanda total (frío+calor) en (%), para viviendas en bloque originales, en diferentes zonas climáticas de España, para 0.5 y 1 renovaciones hora.

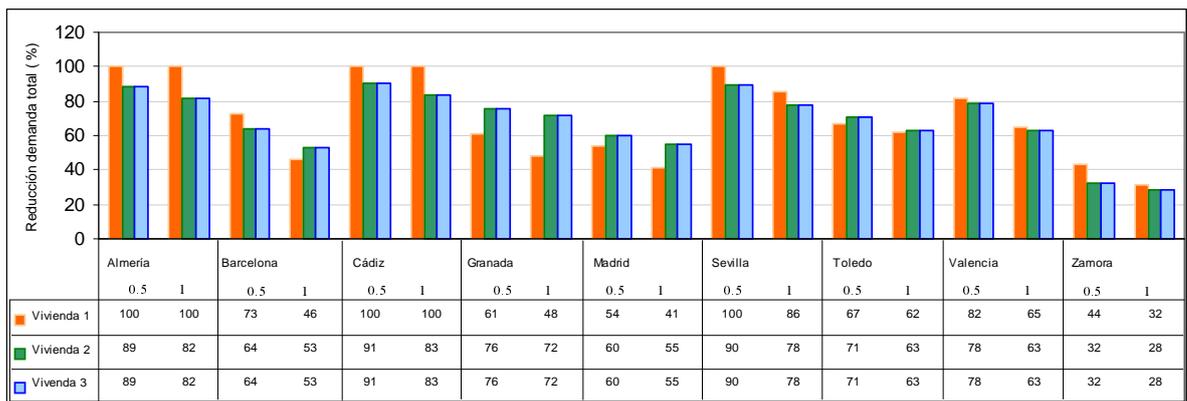


Figura 8.27: Reducción de la demanda total (frío+calor) en (%), en viviendas unifamiliares con mejora del aislamiento y f_s de los huecos. Para diferentes zonas climáticas de España, con 0.5 y 1 renovaciones hora.

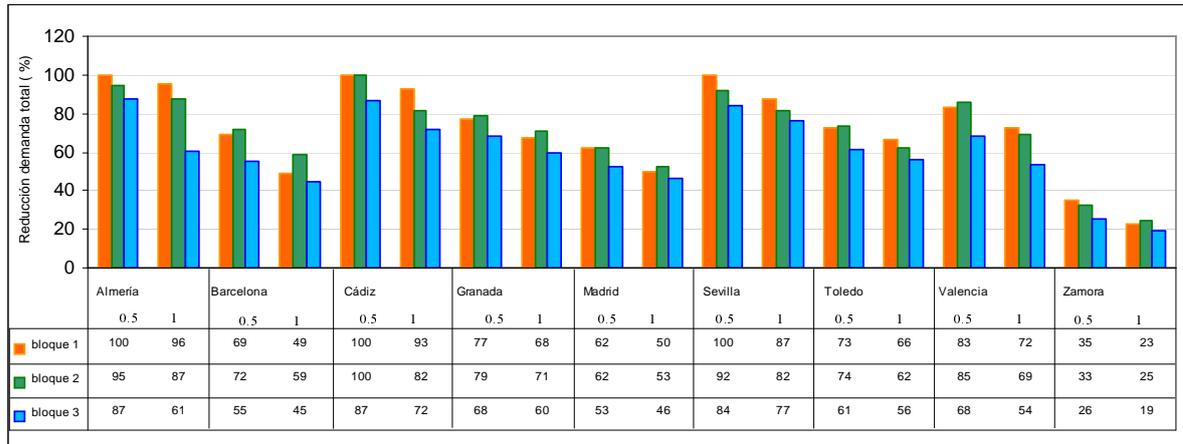


Figura 8.28: Reducción de la demanda total (frío+calor) en (%), para viviendas en bloque con mejora del aislamiento y f_s de los huecos. Para las diferentes zonas climáticas de España, con 0.5 y 1 renovaciones hora

8.5. Conclusiones

Las conclusiones de este capítulo son las siguientes:

- El sistema heurístico de diseño, ha mostrado que el sistema solar que proporciona la mejor cobertura de la demanda de frío anual, no es aquel sistema que presenta el mejor rendimiento para esa cantidad total de refrigeración. Por rendimiento se entiende la cantidad de energía solar captada que se transforma en efecto frigorífico.
- El valor medio del cociente del área de captadores entre el tamaño de máquina ($\psi \text{ m}^2\text{K/kW}$), esta entre 70 y 95 para poblaciones de España, así de esta manera poder cubrir la demanda de refrigeración.
- La cantidad de superficie de colectores solares, cabe en la azotea de cada uno de los edificios estudiados, resultados del diseño óptimo del sistema.
- Con el cambio de temperatura de servicio $t_e = 14^\circ\text{C}$. se ha incrementa el tamaño captadores en un valor promedio de 50 %, alcanzando un valor máximos del 60 % datos extraídos por comparación de las tablas (8.7 y 8.8). El tamaño de la máquina no queda definido, puede ser menor, igual o mayor que en caso de $t_e = 5^\circ\text{C}$.
- De la comparación de los resultados obtenidos mediante la utilización de torre de refrigeración y un intercambiador de calor enterrado para la condensación, se observo que los valores óptimos de la máquina de absorción y el área de captadores solares no tienen variación significativa.
- Para cubrir las necesidades de calefacción (mayor demanda en invierno), es necesario un diseño óptimo del sistema solar a temperatura de evaporación

de $t_e=14^{\circ}\text{C}$. Lo que nos conduce a tener mayor área de captadores solares para cubrir la demanda de frío y de esa manera se obtiene mayor energía en invierno. Así el diseño en verano e invierno se encuentran relacionado a través de la razón entre la demanda de frío y de calor.

- La reducción de emisiones de CO_2 fósil puede ser muy importante en climas del sur de España ciudades como Almería, Cádiz, Sevilla, pudiendo alcanzar reducciones del 70 % respecto al estado actual.
- Al aplicar estos sistemas sobre los edificios actuales se espera la mejora considerable en la letra, escalando uno o dos letras respecto a su estado inicial. Sin embargo, si se actuara también sobre la parte térmica de la arquitectura (parte de la demanda de energía), mejorando el nivel de aislamiento y la calidad de los cristales, se podría obtener con mucha probabilidad calificaciones A.

Capítulo 9

Conclusiones y futuros trabajos

9.1. Conclusiones

Los aspectos más importantes derivados del presente trabajo pueden dividirse en dos grupos: la implementación de un método abreviado de simulación para la certificación energética en edificios residenciales y la utilización de sistemas renovables en el acondicionamiento de viviendas unifamiliares y su consecuente repercusión en la certificación energética.

Podemos resaltar como conclusiones del primer grupo anteriormente citado las siguientes:

- La aplicación del método RTS y las hipótesis realizadas, concretan la simulación del método abreviado propuesto, obteniendo el cálculo rápido y preciso de la certificación energética en edificios residenciales.
- En la validación del programa propuesto en diferentes zonas climáticas españolas, se observaron coeficientes de correlación bastante próximas a la unidad, en viviendas unifamiliares y viviendas en bloque.
 - Los valores encontrados de los coeficientes de correlación R^2 son iguales a: 0.967, para viviendas unifamiliares; 0.974, para viviendas de bloque. Estos valores obtenidos fueron evaluados por comparación de las emisiones de $kgCO_2/m^2$ fósil.
 - Se determinó un valor del coeficiente de correlación de $R^2 = 0.984$, utilizando sistemas diversos.
 - El programa propuesto es conservador en relación al CALENER VYP. La administración para hacer documento oficial a los programas alternativos de certificación, impone, que la calificación energética no debe ser mayor al 1% de todos los casos comparados con el programa oficial de certificación. El programa propuesto cumple con la mencionada restricción.

- Al comparar las gráficas de la demanda horaria de calefacción, se observa una semejanza entre los programas EnergyPlus y el programa propuesto, sin embargo, los valores del programa planteado son mayores para el caso de refrigeración. También se observa en la gráfica del programa CALENER VYP presenta un pico más grande de potencia en ciertos momentos del día, en ambos casos calefacción y refrigeración. Asimismo, en los tres programas comparados la suma total de la demanda anual presenta valores semejantes.
- El peso medio utilizado en los diferentes tipos de cerramiento del edificio en este estudio, está respaldado por el análisis realizado en el capítulo 6. Donde se muestra claramente que no repercute en la certificación energética el tener un cerramiento con peso ligero, medio o pesado. (Si repercutiría en la máxima transferencia de calor, es decir en el dimensionamiento de instalaciones, pero no, en la estimación de la energía total transferida en un año, que será la demanda de energía).
- La ubicación del aislante en el cerramiento no tiene influencia en la certificación energética, esto se ha verificado ubicando el aislante en la parte interior, media y exterior del cerramiento al ejecutar el programa oficial de certificación.

A continuación se resumen las principales conclusiones asociadas al uso de sistemas renovables en el acondicionamiento de viviendas unifamiliares, y la repercusión en la certificación energética.

- El uso de modelos simples para los captadores y la máquina de absorción, permite obtener una relación analítica entre sus parámetros de diseño y su funcionamiento, una vez acoplados. Además permite ver la repercusión del diseño sobre de la máquina de absorción y/o de los captadores sobre el tamaño necesario de los mismos.
- No siempre es posible hacer trabajar con un acople directo, un campo de captadores y una máquina de absorción de simple efecto. El sistema debe diseñarse con esa intención. La relación mínima de área de captadores a tamaño de máquina es de $\psi=50 \text{ m}^2\text{K}/\text{kW}$ para Valencia, España.
- Es posible calcular tablas para cada zona climática con el potencial de la intensidad de la fuerza termodinámica (suma de los $\Delta\Delta t$ anuales teniendo en cuenta la t_e^{eq} , las condiciones climáticas y el parámetro ψ) para el accionamiento solar. Dichas tablas podrían ser usadas para el diseño de sistemas de frío solar, ver anexo D.
- En general, aumentar la temperatura de producción del agua fría lleva consigo una reducción de la producción anual de frío o, si se fuerza a mantener ésta constante, a un mayor tamaño del campo de captadores. Por el contrario, el pico puntual de potencia frigorífica es mayor con temperaturas de evaporación superiores.

- El máximo rendimiento del sistema solar (captadores-máquina de absorción) se produce en un rango de ψ elevado (entre 190 y 250 m^2K/kW). Este rendimiento está por encima de 30 %, en este caso el sistema solar sería el más económico, menor tamaño de máquina y menor área de captadores.
- Debido a la necesidad de acoplar la demanda de refrigeración y la producción de frío a lo largo del año, el máximo rendimiento solar no se alcanza. Los diseños prácticos rondarán los ψ entre 75 y 105 m^2K/kW y el rendimiento solar máximo estará entre el 10 y el 20 % en la producción de refrigeración.
- El diseño que optimiza la cobertura de la demanda de frío por parte del sistema solar, conduce a tamaños que pueden ser instalados en la superficie disponible en los edificios.
- La reducción de emisiones de CO_2 fósil puede ser muy importante en climas del sur de España pudiendo alcanzar reducciones del 70 % respecto al estado actual.
- Al aplicar estos sistemas sobre los edificios actuales cabría esperar la mejora de una letra o a lo sumo dos, respecto de su calificación actual. Sin embargo si se actuara también sobre la parte térmica de la arquitectura (parte de la demanda de energía), mejorando el nivel de aislamiento y la calidad del acristalamiento, se podrá obtener con mucha probabilidad calificaciones A.

9.2. Futuros trabajos

En este apartado se destacarán las futuras líneas de investigación y desarrollo que se consideran más importantes a partir del trabajo desarrollado:

- Al modelo propuesto se sugiere añadir
 - El balance de humedad.
 - Desarrollar el procedimiento con muros reales.
 - Implementar el modelado de las fachadas ventiladas.
- Generalizar la validez del programa propuesto, con programas establecidos como (Trnsys, Blast, DOE2, EnergyPlus...), o con la metodología BESTEST “Standard Method of Test for the Evaluation of Building Energy Analysis Computer Programs”.
- Proponer un método abreviado de certificación energética dirigida a edificios del sector terciario, que resuelva de forma rápida las hipótesis nombradas en este trabajo es decir:
 - Parte estructural

- En el sector terciario existe la posibilidad de tener zonas con diferentes sistemas de acondicionamiento, por tanto, se tendrá que sub-dividir el área habitable en función de los tipos de sistemas que se tenga.
Considerar una única zona térmica no es factible en este caso. Las cargas en determinados días del año se pueden ver compensadas.
- Se tendría que implementar la variedad de sistemas y equipos de acondicionamiento, puesto que en edificios del sector terciario existe una amplia gama de sistemas.
- Metodología de cálculo
 - En el sector terciario puede existir la coincidencia que las zonas trabajen con diferente tipo de uso, es decir alta, media o baja carga. Considerar las hipótesis realizadas en este trabajo, podría generar grandes desviaciones de los resultados por ello se sugiere:
 - ◇ Plantear una temperatura equivalente T^* entre las paredes interiores y la temperatura del aire para resolver el problema en edificios terciarios.

El objetivo de los apartados 7 y 8 de la tesis fue mostrar el funcionamiento acoplado entre los captadores solares, la máquina de absorción para la producción de frío y la simulación térmica del edificio. Realizado este análisis se plantea para futuros desarrollos tomar en cuenta la instalación elegida para el funcionamiento de los captadores solares, el control del sistema de refrigeración no convencional. En un próximo trabajo estos detalles sería muy importante incluirlos.

A continuación se enumeran otras posibles sugerencias como futuras líneas de desarrollo en los apartados 7 y 8.

- Analizar con modelos complejos el acople de los captadores solares y la máquina de absorción de simple efecto.
- Proponer un nuevo estudio, con pérdidas internas en cada uno de los componentes del sistema de absorción ($\Delta\Delta T_{min}$) variable, según la ecuación propuesta en ref. [37].
- Introducir en el análisis (máquina de absorción y captador solar), los consumos eléctricos de las bombas, y las pérdidas de operación.
- Realizar un estudio considerando sistemas intermedios de acumulación de agua caliente.

Apéndice A

Horarios y fuentes internas de simulación

Los horarios de fuentes internas aparecen referenciados desde la hora 1 a la hora 24, de ocupantes, equipos e iluminación. además del control de termostato y los horarios de ventilación, que son descritos a continuación:

A.1. Control del termostato

El Código Técnico de la Edificación de España “CTE”, fija un estándar para el control del termostato en edificios residenciales como se ve en la figura (A.1). Si el edificio pasa los niveles de control, el sistema convencional de climatización se pone en marcha, dentro los límites y periodos establecidos, para cubrir la energía necesaria, añadiendo o quitando al aire en el interior de la zona térmica y de esta manera mantener sus condiciones (temperatura y humedad) dentro de los límites impuestos por el punto de ajuste del termostato.

Como se puede observar en la gráfica en verano la temperatura se deja oscilar libremente entre las 8 y las 15hrs.

A.2. Ventilación

Ventilación (ren/h)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Verano: Laboral, Sábado y festivo	4	4	4	4	4	4	4	4	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Invierno: Laboral, Sábado y festivo	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*

En verano (Junio, Julio, Agosto y Septiembre), el periodo comprendido entre las 24 y las 8 horas. ambas incluidas, se supondrá que los espacios habitables de los edificios, presenten una infiltración por abertura de ventanas de 4 renovaciones por hora. El resto del tiempo, indicados con * en la tabla, el número de renovaciones será constante e igual al impuesto por el usuario (calculado según el documento del CTE. HS3).

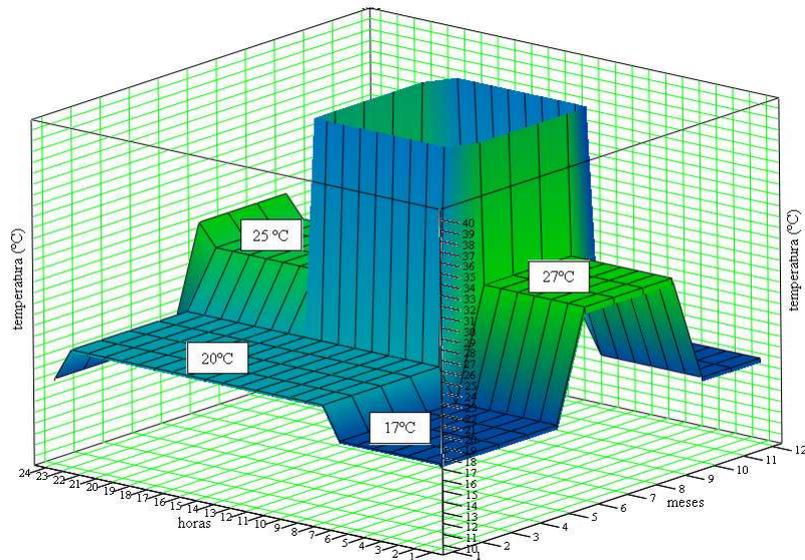


Figure A.1: Control del termostato para edificios residenciales, de acuerdo a la certificación energética de España.

A.3. Ocupantes

Sensible. La carga asumida bajo este concepto se puede representar como:

Los valores umbrales son 2.15 , 1.08 y $0.54 W/m^2$.

Latente. La carga asumida bajo este concepto se puede representar como:

Los valores umbrales son 1.36 , 0.68 y $0.34 W/m^2$.

A.4. Equipos (todo sensible)

Toda la potencia térmica aquí representada es sensible (no hay latente).

Los valores umbrales son 4.4 , 2.2 y $0.44 W/m^2$.

A.5. Iluminación (todo sensible)

Toda la potencia debida a la iluminación es sensible (no hay latente).

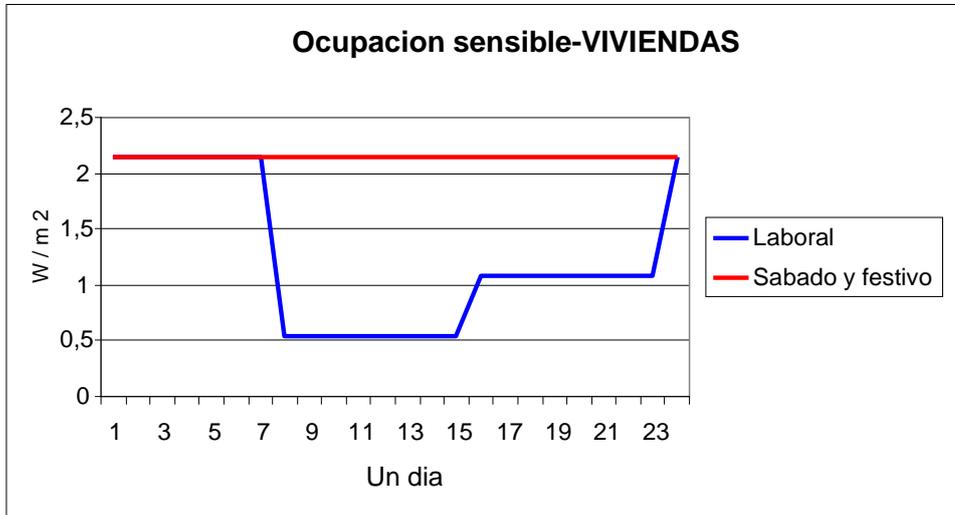


Figura A.2: Comportamiento de la carga sensible por ocupantes.

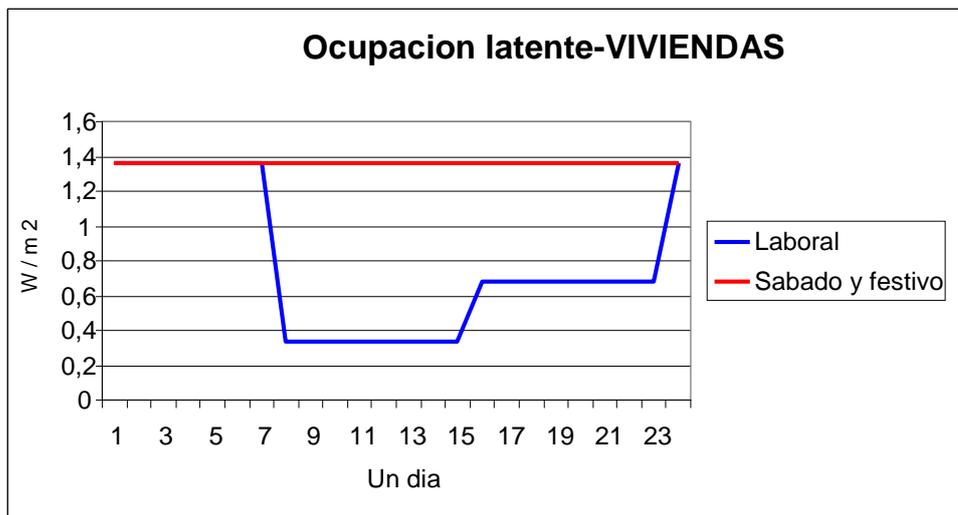


Figura A.3: Comportamiento de la carga latente por ocupantes.

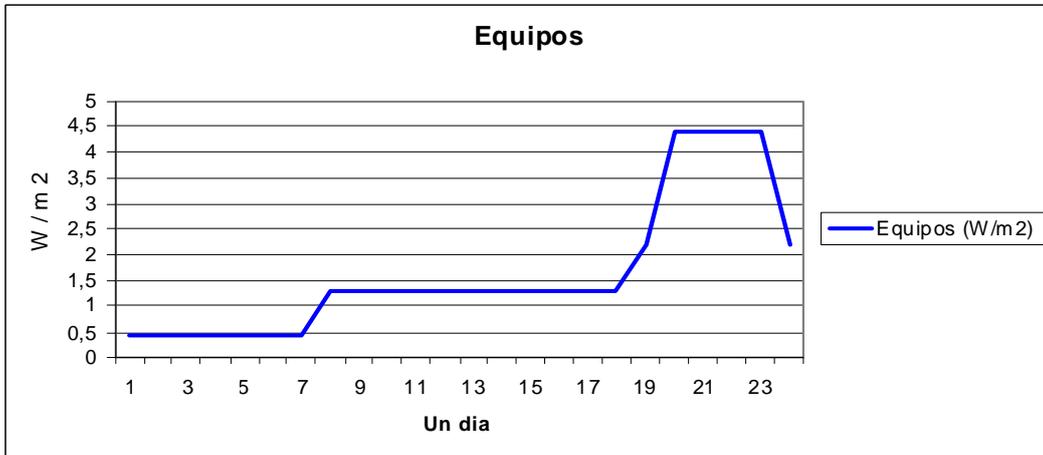


Figura A.4: Comportamiento de la carga sensible por los equipos.

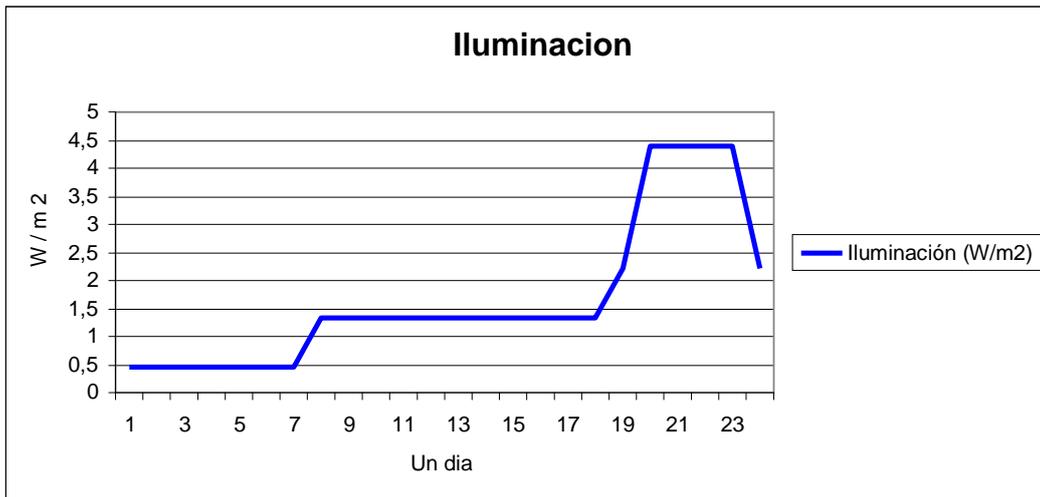


Figura A.5: Comportamiento de la carga sensible por la iluminación.

Apéndice B

Escala de la calificación energética

La escala de calificación energética en edificios residenciales se realiza en función al documento “Escala de calificación energética para edificios de nueva construcción” ref. [15]. Este documento también hace referencia al documento CEN prEN 15217 “Energy performance of building – Methods for expressing energy performance and for energy certification of building”, ref. [50].

La calificación real se establece en comparación con unos valores de referencia fijos para cada una de las capitales de provincia (y zonas climáticas), mediante la estimación del índice de calificación de eficiencia energética C_1 .

Los edificios de viviendas regulados por este Procedimiento básico se calificarán energéticamente de acuerdo con la tabla (B.1), en función de su índice de calificación energética C_1 .

El índice de calificación energética C_1 del edificio se obtiene a partir de la siguiente relación:

$$C_1 = \frac{\left(\frac{I_0}{I_r} \cdot R\right) - 1}{2 \cdot (R - 1)} + 0.6 \quad (\text{B.1})$$

donde:

I_0 emisiones de CO_2 de edificio objeto limitada a los servicios de calefacción, refrigeración y agua caliente sanitaria.

Cuadro B.1: Calificación de eficiencia energética de edificios.

Edificios + Instalaciones	C_1
Categoría A	$C_1 < 0.15$
Categoría B	$0.15 \leq C_1 < 0.5$
Categoría C	$0.5 \leq C_1 < 1$
Categoría D	$1 \leq C_1 < 1.75$
Categoría E	$1.75 \leq C$

- I_r valor medio de emisiones de CO_2 de los servicios de calefacción, refrigeración y agua caliente sanitaria de los edificios nuevos de viviendas fijados como referencia (tabulados a continuación, muestran la demanda de referencia y las emisiones se obtiene multiplicando por unos coeficientes que se indican), siendo diferentes en viviendas unifamiliares y en bloques.
- R Ratio entre el valor indicador correspondiente al percentil 50 % y el percentil del 10 % de los edificios nuevos de viviendas que cumplen estrictamente son los apartados HE1, HE2, y HE4 del código técnico de la edificación

Valores referencia de demanda de energía viviendas Unifamiliares				
Localidad	Zona Climática	Demanda de calefacción kWh/m^2	Demanda de refrigeración kWh/m^2	Demanda de ACS kWh/m^2
Albacete	D3	72.2	13.9	17.9
Alicante	B4	23	24.2	16.8
Almería *	A4	19.8	27.7	16.6
Ávila	E1	101	0	18.7
Badajoz	C4	41.6	25.1	17.2
Barcelona *	C2	43.4	12.1	17.4
Bilbao *	C1	61.9	0	17.8
Burgos *	E1	113.1	0	18.8
Cáceres	C4	48.4	27.8	17.3
Cádiz *	A3	17.2	21.4	16.7
Castellón	B3	35.5	19.4	17.1
Ceuta	B3	31.2	8.4	17.2
Ciudad Real	D3	66.4	18.9	17.8
Córdoba	B4	38.3	32.2	16.9
Cuenca	D2	89.3	8.3	18.2
Gerona	C2	63.7	9.8	17.7
Granada *	C3	55.9	17.7	17.6
Guadalajara	D3	74.8	11.4	17.9
Huelva	B4	21.5	26.4	16.7
Huesca	D2	74.6	11.7	17.9
Jaén	C4	39.9	31.8	16.7
La Coruña	C1	46.6	0	17.8
León	E1	95.7	0	18.6
Lérida	D3	62.3	18.3	17.7
Logroño	D2	70.8	9	17.9
Lugo	D1	89.5	0	18.5
Madrid *	D3	64.4	15.7	17.7

Valores referencia de demanda de energía viviendas Unifamiliares				
Localidad	Zona Climática	Demanda de calefacción <i>kWh/m²</i>	Demanda de refrigeración <i>kWh/m²</i>	Demanda de ACS <i>kWh/m²</i>
Málaga	A3	24.2	23.3	16.7
Melilla	A3	17.5	20.9	16.7
Murcia	B3	33	18.5	17.1
Ourense	C2	66.1	9.1	17.7
Oviedo	C1	73.1	0	18.1
Palencia	D1	90	0	18.4
Palma Mallorca	B3	25.1	23.3	16.9
Palma G.Canaria	A3	9.3	16.4	16.2
Pamplona	D1	85.3	0	18.2
Pontevedra	C1	41.2	0	17.5
Salamanca	D2	91.1	4.5	18.4
San Sebastián	C1	71.4	0	18
Santa Cruz	A3	9.3	22.7	16.1
Santander	C1	51.3	0	17.8
Segovia	D2	96.4	6.2	18.3
Sevilla *	B4	27.9	33.4	16.7
Soria	E1	105.4	0	18.7
Tarragona	B3	36	24.3	17
Teruel	D2	94.4	4.6	18.4
Toledo *	C4	58.4	27.2	17.4
Valencia *	B3	35.5	18.7	17.1
Valladolid	D2	89.7	6.9	18.2
Vitoria *	D1	97	0	18.5
Zamora *	D2	83.1	7.8	18.1
Zaragoza	D3	60.6	16.9	17.6

Valores referencia de demanda de energía viviendas en Bloques				
Localidad	Zona Climática	Demanda de calefaccion <i>kWh/m²</i>	Demanda de refrigeración <i>kWh/m²</i>	Demanda de ACS <i>kWh/m²</i>
Albacete	D3	49.1	9.7	13.1
Alicante	B4	13.2	16.7	12.3
Almería *	A4	10.8	19.1	12.1
Ávila	E1	69.5	0	13.7
Badajoz	C4	27.4	17.1	12.6
Barcelona *	C2	28.3	8	12.8
Bilbao *	C1	40	0	13

Valores referencia de demanda de energía viviendas en Bloques				
Localidad	Zona Climática	Demanda de calefaccion kWh/m^2	Demanda de refrigeración kWh/m^2	Demanda de ACS kWh/m^2
Burgos *	E1	77.1	0	13.8
Cáceres	C4	32.1	19	12.7
Cádiz *	A3	9	14.6	12.3
Castellón	B3	21.4	13.1	12.5
Ceuta	B3	18.3	5.7	12.6
Ciudad Real	D3	45	13.2	13
Córdoba	B4	23.5	22.4	12.4
Cuenca	D2	60.9	5.6	13.3
Gerona	C2	42.4	6.4	13
Granada *	C3	37.4	12.5	12.9
Guadalajara	D3	50.4	7.8	13.1
Huelva	B4	12.6	18.3	12.3
Huesca	D2	50.6	7.9	13.1
Jaén	C4	26.2	22.3	12.3
La Coruña	C1	30	0	13
León	E1	65.5	0	13.6
Lérida	D3	42	12.4	13
Logroño	D2	47.4	5.9	13.2
Lugo	D1	60.2	0	13.5
Madrid *	D3	43.2	10.8	13
Málaga	A3	13.4	16.1	12.3
Melilla	A3	9.3	14.2	12.2
Murcia	B3	19.8	12.5	12.5
Ourense	C2	43.2	5.7	13
Oviedo	C1	48.3	0	13.3
Palencia	D1	61.2	0	13.5
Palma Mallorca	B3	14.4	15.9	12.4
Palma G.Canaria	A3	3.5	11.1	11.8
Pamplona	D1	57.5	0	13.3
Pontevedra	C1	26.5	0	12.9
Salamanca	D2	62.3	2.7	13.5
San Sebastián	C1	46.9	0	13.2
Santa Cruz	A3	3.5	15.6	11.8
Santander	C1	33	0	13
Segovia	D2	65.7	4.2	13.5
Sevilla	B4	16.6	23.4	12.3
Soria	E1	72.1	0	13.7
Tarragona	B3	21.8	16.4	12.4
Teruel	D2	64.5	2.8	13.5

Valores referencia de demanda de energía viviendas en Bloques				
Localidad	Zona Climática	Demanda de calefacción kWh/m^2	Demanda de refrigeración kWh/m^2	Demanda de ACS kWh/m^2
Toledo *	C4	39	18.9	12.8
Valencia *	B3	21.3	12.6	12.5
Valladolid	D2	60.6	4.5	13.3
Vitoria *	D1	65.4	0	13.5
Zamora *	D2	56.3	5.3	13.3
Zaragoza	D3	40.6	11.4	12.9

En el caso de tener una localidad que no sea capital de provincia, la demanda de calefacción de referencia, se obtiene a partir de su Zona Climática (en función de su diferencia de altura con respecto a la capital de provincia donde esta situada esta localidad) de otra forma, para el caso de una localidad que no sea capital de provincia, se procede a calcular las demandas de calefacción y referencia en función a la siguiente relación.

$$\text{Demanda calefacción n referencia} = a + b \cdot SCI$$

Tipo de edificio	a	b
Vivienda unifamiliar	9.29	54.98
Vivienda en bloques	3.51	39.57

$$\text{Demanda calefacción n referencia} = a + b \cdot SCV$$

Tipo de edificio	a	b
Vivienda unifamiliar	-4.24	20.41
Vivienda en bloques	-3.44	14.44

donde:

SCI severidad climática de invierno, obtenidas a partir de correlaciones.

SCV severidad climática de verano, obtenidas a partir de correlaciones que se muestra a continuación.

Severidad climática de invierno			
$SCI = a \cdot GD + b \cdot n/N + c \cdot GD^2 + d (n/N)^2 + e$			
a	3.546×10^{-4}	d	-7.32×10^{-2}
b	-4.04×10^{-3}	e	-1.137×10^{-1}
c	8.394×10^{-8}		

Severidad climática de verano			
$SCV = a \cdot GD + b \cdot n/N + c \cdot GD^2 + d(n/N)^2 + e$			
a	3.052×10^{-3}	d	-2.339×10^{-1}
b	1.784×10^{-1}	e	-2.041×10^{-1}
c	-1.343×10^{-7}		

La demanda de ACS neta se la determina a partir de los valores establecidos como ACS bruta, (tabulados a continuación), la contribución solar mínima “*f*” valores que se obtiene en DB HE-4.

$$Demanda_{ACS\ neta} = Demanda_{ACS\ Bruta} \left(\frac{100 - f}{100} \right) \quad (B.2)$$

La emisiones I_r se obtiene multiplicando por los coeficientes de paso.

$$I_r = Demanda_{calef} Coef_{paso_{calef}} + Demanda_{refrig} Coef_{paso_{refrig}} + Demanda_{ACS\ neta} Coef_{paso_{ACS\ neta}} \quad (B.3)$$

Y los coeficientes de paso demanda de energía (kWh) a emisiones de CO_2 (kg) medios establecidos por defecto son los que a continuación se especifican:

Coef. paso CO_2	Peninsular	Extra peninsular
Calefacción	0.32	0.38
Refrigeración	0.25	0.38
ACS	0.38	0.45

Para realizar las calificaciones parciales de las demandas en calefacción, refrigeración ACS, es el mismo procedimiento, tomando valores diferentes de I_r y el valor de R, se muestra a continuación en las tablas.

donde R

R_{TOTAL}				
Invierno \ verano	1	2	3	4
A	-	-	1.6	1.6
B	-	-	1.6	1.55
C	1.5	1.5	1.55	1.55
D	1.45	1.5	1.5	-
E	1.45	-	-	-

$R_{calefacción}$ (emisiones CO_2)		
Zonas climáticas	Viviendas unifamiliares	Viviendas en bloques
A	1.7	1.7
B	1.6	1.6
C	1.5	1.6
D	1.5	1.6
E	1.4	1.5

$R_{refrigeración}$ (emisiones CO_2)		
Zonas climáticas	Viviendas unifamiliares	Viviendas en bloques
1	-	-
2	1.5	1.6
3	1.4	1.5
4	1.4	1.5

R_{ACS} (emisiones CO_2)		
Zonas climáticas	Viviendas unifamiliares	Viviendas en bloques
Todas	1.2	1.2

$R_{calefacción}$ (demanda)		
Zonas climáticas	Viviendas unifamiliares	Viviendas en bloques
A	1.7	1.7
B	1.6	1.7
C	1.5	1.7
D	1.5	1.7
E	1.4	1.7

$R_{refrigeración}$ (demanda)		
Zonas climáticas	Viviendas unifamiliares	Viviendas en bloques
1	-	-
2	1.5	1.6
3	1.4	1.5
4	1.4	1.5

A partir de los apartados anteriores se consigue asignar una letra entre (A - E) en función del índice de eficiencia energética C_1 , por tanto es este valor el que asigna la calificación energética para todas las zonas climáticas, en todas las viviendas de nueva edificación sea bloques o unifamiliares.

Apéndice C

Descripción geométrica de los edificios

C.1. Datos geométricos en los edificios oficiales de simulación

Las plantillas contienen los datos geométricos y U (coeficiente global de transferencia de calor) para los distintos cerramientos opacos y elementos de huecos de los edificios oficiales de simulación (3 viviendas unifamiliares y 3 edificios de bloques). Como ejemplo para la ciudad de Valencia zona climática “B3”.

Vivienda oficiales de comparación U1

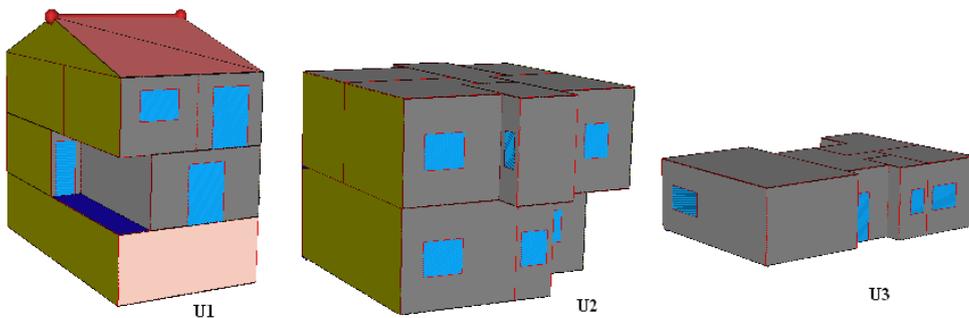


Figura C.1: Edificios unifamiliares (U1,U2,U3).

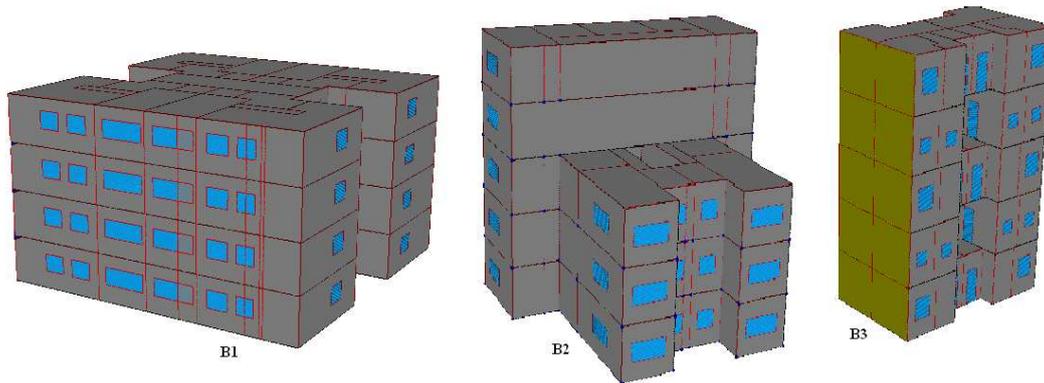


Figura C.2: Edificios en Bloques (B1,B2,B3).

Número de vivienda		Edificio N°1			
Localidad		Valencia			
Zona Climática		E3			
Tipo		Unifamiliar			
Volumen Acondicionado [m³]	410,8	Suelo acond. [m²]	164,4		

ORIENTACIÓN	TIPO 1 U [W/m² K] = 0,52			TIPO 2 U [W/m² K] =			TIPO 2 U [W/m² K] =			Área de transferencia	Compa. cidad
	ÁREA [m²]	Área con exposición variable al sol [m²]	Área expuesta al sol [m²]	ÁREA [m²]	Área con exposición variable al sol [m²]	Área expuesta al sol [m²]	ÁREA [m²]	Área con exposición variable al sol [m²]	Área expuesta al sol [m²]		
Exterior Norte/Sombra	18,4									167,984	2,445471
E Oeste						0			0		
Ext. Sur Oeste						0			0		
Ext. Sur	29,93		29,93			0			0		
Ext. Sur Este						0			0		
Ext. Este	14,41	14,41	0			0			0		
En sombra						0			0		

Área total [m²]	u [w/m²K]	Área total [m²]	u [w/m²K]	dcl 1 ... 5	
Muro otro local		Otro local no acond.		Nivel de estanqueidad	
Muro al terreno	13,08	0,9 Profundidad	2,4 m		
Muro adiabático	161,25				

ORIENTACIÓN	TIPO 1		ÁREA [m²] U [W/m² K]	
	ÁREA [m²]	U [W/m² K]	Exterior inclinado sol	
Exterior Horizontal sol			Ext. 30° N	
Exterior horizontal sombra	6,215	0,38	Ext. 30° O	
			Ext. 30° SO	
			Ext. 30° S	
			Ext. 30° SE	
			Ext. 30° E	
Techo ventilado (forjado interior horizontal)	57	0,6	Buardilla Exterior	Área total [m²] u [w/m²K]
Techo a local no acondicionado	Sin ventana			60,1 0,38
Techo adiabático	Con ventana		dcl 1 ... 5	
			Nivel de estanqueidad 1	

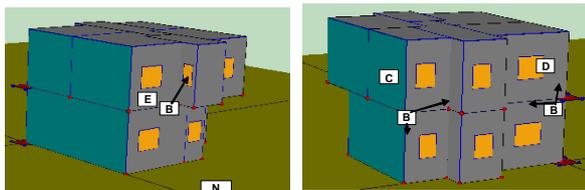
SUELOS		TIPO 1		Área total [m²] u [w/m²K]		dcl 1 ... 5	
	ÁREA [m²]	U [W/m² K]					
Exterior	6,215	0,38	Suelo no acond. Exterior			Nivel de estanqueidad	
Suelo a otro local							
Suelo a Vació sanitario			Pared exterior	<input type="checkbox"/>	Pared al terreno	<input type="checkbox"/>	
Suelo al terreno	57,004	0,93					
Suelo adiabático							
Aslamiento Perimetral							
D							
R							

VENTANAS			
	U [W/m ² K]	Factor solar	% cubierto
CRISTAL	3,3	0,75	90
MARCO	4	0,7	

ORIENTACIÓN	GRUPO 1	GRUPO 2	GRUPO 3	GRUPO 4	GRUPO 5	GRUPO 6	GRUPO 7	GRUPO 8**	Área Total m ²
	ALTO: 1 ANCHO: 1,22	ALTO: 1 ANCHO: 0,81	ALTO: 1 ANCHO: 0,85	ALTO: 1 ANCHO: 1,23	ALTO: 1 ANCHO: 0,79	ALTO: 1 ANCHO: 0,73	ALTO: 1 ANCHO: 1,26	ALTO: 1 ANCHO: 0,5	
Ventana Sombra Norte									11,04
Ventana Oeste	1	2	1	1					
Ventana Sur Oeste									
Ventana Sur								1**	
Ventana Sur Este									
Ventana Este	1	2			1	1	1		
Claraboyas									

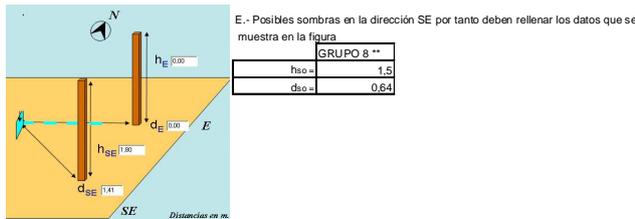
* Huecos que contienen elementos de sombra y se debe rellenar los casilleros a continuación

Características Geométricas de los Componentes de Sombras grupo 4	
Longitud OD	Longitud OB
Angulo	Retranqueo



Observaciones

- La vivienda unifamiliar esta acondicionada la primera y segunda planta.
- B.- Las paredes se las debe ubicar a sus respectivas orientaciones, por existir incertidumbre del porcentaje de sombra, también se considera el área en el casillero de exposición variable al sol (orientaciones: sur, este y oeste)
- C.- No existe interferencia a 45° orientación SE.
- D.- No existe interferencia a 45° orientación SO.



Vivienda oficiales de comparación U3

Número de vivienda	Edificio Nº3		
Localidad	Valencia		
Zona Climática	B3		
Tipo	Unifamiliar		
Volumen Acondicionado [m ³]	202,17	Suelo acond. [m ²]	67,39

ORIENTACIÓN	TIPO 1 U [W/m ² K] =		TIPO 2 [W/m ² K] =		TIPO 2 [W/m ² K] =		Área de transferencia	Compatibilidad
	ÁREA [m ²]	Área con exposición variable al sol [m ²]	ÁREA [m ²]	Área con exposición variable al sol [m ²]	ÁREA [m ²]	Área con exposición variable al sol [m ²]		
Exterior Norte/Sombra	23,92						231	0,87519481
E Oeste	20,95	11,09	9,86		0			
Ext. Sur Oeste				0	0			
Ext. Sur	19,62	7,5	12,12		0			
Ext. Sur Este				0	0			
Ext. Este	25,41	4,63	20,78		0			
En sombra								

Muro a otro local		A otro local no acond.		Nivel de estanqueidad	del 1 ... 5
Muro al terreno		Profundidad	m		
Muro adiabático					

ORIENTACIÓN	CUBIERTAS TIPO 1		Exterior inclinado sol	
	ÁREA [m ²]	U [W/m ² K]	ÁREA [m ²]	U [W/m ² K]
Exterior Horizontal sol	67,35	0,52	Ext. 30° N	
Exterior horizontal sombra			Ext. 30° O	
			Ext. 30° SO	
			Ext. 30° S	
			Ext. 30° SE	
			Ext. 30° E	
			Buanda Exterior	

Techo ventilado (fofado interior horizontal)			Área total [m ²]	u [W/m ² K]	
Techo a local no acondicionado	Sin ventana				del 1 ... 5
Techo adiabático	Con ventana				

SUELOS TIPO 1		Suelo no acond. Exterior		Nivel de estanqueidad	
ÁREA [m ²]	U [W/m ² K]	ÁREA [m ²]	u [W/m ² K]	del 1 ... 5	
Exterior					
Suelo a otro local					
Suelo a Vacio sanitario		Pared exterior		Pared al terreno	
Suelo al terreno	67,35	0,92			
Suelo adiabático					

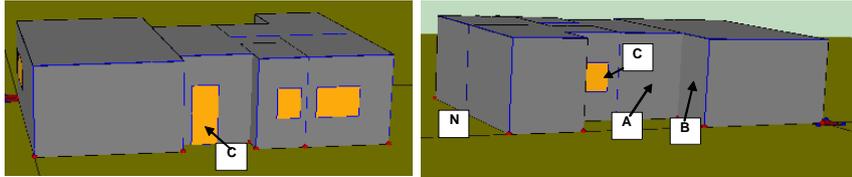
C.1. DATOS GEOMÉTRICOS EN LOS EDIFICIOS OFICIALES DE SIMULACIÓN 219

VENTANAS			
	U [W/m² K]	Factor solar	% cubierto
CRISTAL	3,3	0,75	90
MARCO	4	0,7	

ORIENTACIÓN	GRUPO 1	GRUPO 2	GRUPO 3	GRUPO 4**	GRUPO 5	Área Total m²
	ALTO: 1 ANCHO: 1,8	ALTO: 1 ANCHO: 0,7	ALTO: 1 ANCHO: 1,3	ALTO: 1 ANCHO: 1	ALTO: 2 ANCHO: 0,8	
Ventana Sombra Norte						6,4
Ventana Oeste				1		
Ventana Sur Oeste						
Ventana Sur	1					
Ventana Sur Este						
Ventana Este			1	1		1
Claraboyas						

* Huecos que contienen elementos de sombra y se debe reellenar los casilleros a continuación

Características Geométricas de los Componentes de Sombras	
Longitud OD	Longitud OB
Ángulo	Retranqueo



Observaciones

La vivienda en unifamiliar esta acondicionada todos sus recintos

A.- Las pared se la debe ubicar a su respectiva orientación, por existir incerdumbre del porcentaje de sombra, también se considera el área en el casillero de exposición variable al sol (al este y oeste)

B.- No se considera elementos de sombra por estar ubicado en dirección norte (huecos y paredes)

C.- Las puerta y la ventana (este y oeste) no tiene impedimento en dirección sur este y sur oeste por tanto no se considera como posibles obstrucciones

Edificio en bloque oficiales de comparación B1

Número de vivienda	Edificio N° 4		
Localidad	Valencia		
Zona Climática	B3		
Tipo	Bloque		
Volumen Acondicionado [m³]	3014,5	Suelo acond. [m²]	1116,48

ORIENTACIÓN	MUROS						Área de transferencia	Compa.. cida
	TIPO 1	U [W/m² K] = 0,52		TIPO 2	U [W/m² K] =			
	ÁREA [m²]	Área con exposición variable al sol [m²]	Área expuesta al sol [m²]	ÁREA [m²]	Área con exposición variable al sol [m²]	Área expuesta al sol [m²]		
Exterior Norte/Sombra	241,88						1522,96	1,97936912
E Oeste	175,64	42,68	132,96			0		0
Ext. Sur Oeste			0			0		0
Ext. Sur	242,36	88,56	153,8			0		0
Ext. Sur Este			0			0		0
Ext. Este	175,64	42,68	132,96			0		0
En sombra								

Muro a otro local	Área total [m²]	u [w/m²K]	Área total [m²]	u [w/m²K]	Nivel de estanqueidad	del 1 ... 5
Muro al terreno			A otro local no acond.			
Muro adiabático			Profundidad	m		

ORIENTACIÓN	CUBIERTAS		Área [m²]		U [W/m² K]	
	TIPO 1	Área [m²]	TIPO 2	Área [m²]	TIPO 2	U [W/m² K]
Exterior Horizontal sol	279,12	0,57	Exterior inclinado sol			
Exterior horizontal sombra			Ext. 30° N			
			Ext. 30° O			
			Ext. 30° SO			
			Ext. 30° S			
			Ext. 30° SE			
			Ext. 30° E			
Techo ventilado (forjado interior horizontal)			Buardilla Exterior	Área total [m²]	u [w/m²K]	
Techo a local no acondicionado	Sin ventana					del 1 ... 5
Techo adiabático	Con ventana					

Muro al Exterior	18,33%
Cubierta exterior	8,48%
Suelo terreno	18,33%
Elementos de huecos	54,86%

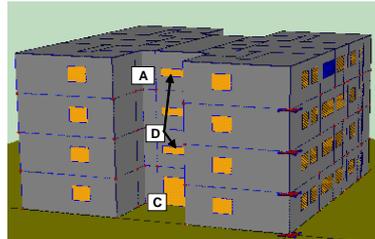
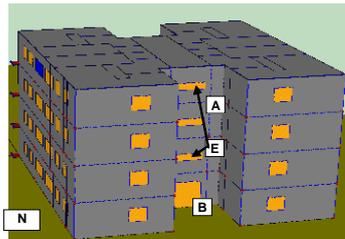
SUELOS							
TIPO 1	TIPO 2						
Exterior	Área [m²]	U [W/m² K]	Suelo no acond. Exterior	Área total [m²]	u [w/m²K]	Nivel de estanqueidad	del 1 ... 5
Suelo a otro local			Pared exterior			Pared al terreno	
Suelo a Vacio sanitario							
Suelo al terreno	279,12	0,92					
Suelo adiabático							
Aislamiento Perimetral							
D	1						
R	1						

VENTANAS			
	U [W/m² K]	Factor solar	% cubierto
CRISTAL	3,3	0,75	90
MARCO	4	0,7	

ORIENTACIÓN	GRUPO 1	GRUPO 2	GRUPO 3**	GRUPO 4**	GRUPO 5**	GRUPO 6**	Área Total m ²
	ALTO: 1 ANCHO: 1,2	ALTO: 1 ANCHO: 2,4	ALTO: 2 ANCHO: 2	ALTO: 2 ANCHO: 2	ALTO: 0,5 ANCHO: 2	ALTO: 0,5 ANCHO: 2	
Ventana Sombra Norte	16	8					129,2
Ventana Oeste		8		1**		3**	
Ventana Sur Oeste							
Ventana Sur	16	8					
Ventana Sur Este							
Ventana Este		8	1**		3**		
Claraboyas							

* Huecos que contienen elementos de sombra y se debe reellenar los casilleros a continuación

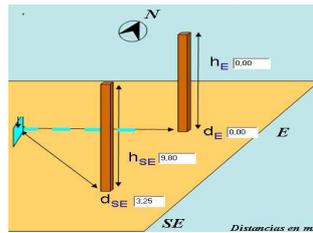
Características Geométricas de los Componentes de Sombras	
Longitud OD	Longitud OB
Angulo	Retranqueo



Observaciones

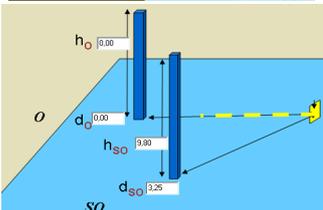
La vivienda en bloque esta acondicionada todas las plantas (4 plantas)

A.- Las paredes se las debe ubicarlas a sus respectivas orientaciones, por existir incertidumbre del porcentaje de sombra, también se considera el área en el casillero de exposición variable al sol (al este y al oeste)



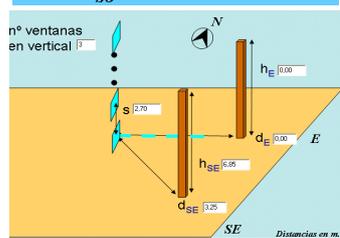
B.- Posibles sombras en la dirección SE por tanto deben reellenar los datos que se muestra en la figura

GRUPO 3 **	
h _{SE} =	9,8
d _{SE} =	3,25



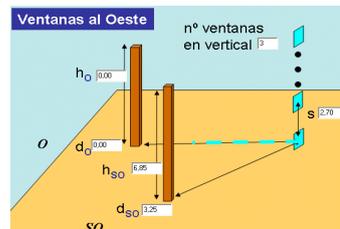
C.- Posibles sombras en la dirección SO por tanto deben reellenar los datos que se muestra en la figura

GRUPO 3 **	
h _{SO} =	9,8
d _{SO} =	3,25



D.- Posibles sombras en la dirección SE por tanto deben reellenar los datos que se muestra en la figura

GRUPO 6 **	
h _{SE} =	6,85
d _{SE} =	3,25
s =	2,7
Nº ventanas =	3



E.- Posibles sombras en la dirección SO por tanto deben reellenar los datos que se muestra en la figura

GRUPO 6 **	
h _{SO} =	6,85
d _{SO} =	3,25
s =	2,7
Nº ventanas =	3

Edificio en bloque oficiales de comparación B2

C.1. DATOS GEOMÉTRICOS EN LOS EDIFICIOS OFICIALES DE SIMULACIÓN 221

Número de vivienda	Edificio N° 5										
Localidad	Valencia										
Zona Climática	B3										
Tipo	Bloque										
Volumen Acondicionado [m³]	1950,5									Suelo acond. [m²]	653,16

ORIENTACIÓN	MUROS										Área de transferencia	Compacidad					
	TIPO 1		U [W/m² K] = 0,52		TIPO 2		U [W/m² K] =		TIPO 2				U [W/m² K] =				
	ÁREA [m²]	Área con exposición variable al sol [m²]	Área expuesta al sol [m²]	ÁREA [m²]	Área con exposición variable al sol [m²]	Área expuesta al sol [m²]	ÁREA [m²]	Área con exposición variable al sol [m²]	Área expuesta al sol [m²]	Área [m²]			Área con exposición variable al sol [m²]	Área expuesta al sol [m²]			
Exterior Norte/Sombra	221,25																
E Oeste	166,7	18	148,7						0					0			
Ext. Sur Oeste			0						0					0			
Ext. Sur	189,25		189,25						0					0			
Ext. Sur Este	166,7		0						0					0			
Ext. Este	166,7	18	148,7						0					0			
En sombra	142,56																

Muro a otro local	Área total [m²]	u [w/m²K]	Área total [m²]	u [w/m²K]	del 1 ... 5
Muro al terreno			A otro local no acond.		Nivel de estanqueidad
Muro adiabático			Profundidad	m	

ORIENTACIÓN	CUBIERTAS		ÁREA [m²]		U [W/m² K]	
	TIPO 1	TIPO 2	TIPO 1	TIPO 2	TIPO 1	TIPO 2
Exterior Horizontal sol	164,1	0,57	Ext. 30° N			
Exterior horizontal sombra			Ext. 30° O			
			Ext. 30° SO			
			Ext. 30° S			
			Ext. 30° SE			
			Ext. 30° E			

Techo ventilado (forjado interior horizontal)			Buandilla Exterior	Área total [m²]	u [w/m²K]	del 1 ... 5
Techo a local no acondicionado	Sin ventana					
Techo a local no acondicionado	Con ventana					
Techo adiabático						

ORIENTACIÓN	SUELOS		ÁREA [m²]		U [W/m² K]	
	TIPO 1	TIPO 2	TIPO 1	TIPO 2	TIPO 1	TIPO 2
Exterior	3,8	0,57	SUBSO NO acond. Exterior	Área total [m²]	u [w/m²K]	del 1 ... 5
Suelo a otro local						
Suelo a Vaco sanitario			Pared exterior		Pared al terreno	
Suelo al terreno	160,3	0,92				
Suelo adiabático						
	Asiastamiento Perimetral					
	D	1				
	R	1				

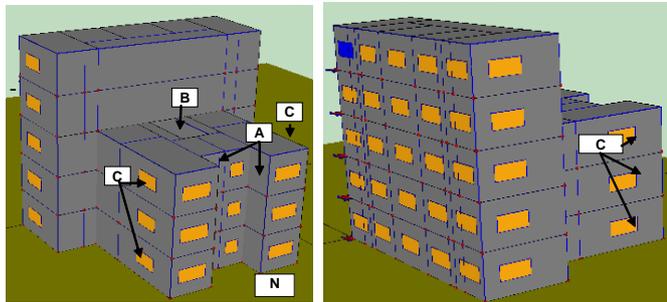
VENTANAS

	U [W/m² K]	Factor solar	% cubierto
CRISTAL	3,3	0,75	90
MARCO	4	0,7	

ORIENTACIÓN	GRUPO 1	GRUPO 2	GRUPO 3	Área Total m²
	ALTO: 1 ANCHO: 2	ALTO: 1 ANCHO: 1	ALTO: ANCHO:	
Ventana Sombra Norte	6	6		
Ventana Oeste	8			
Ventana Sur Oeste				
Ventana Sur	25			
Ventana Sur Este				
Ventana Este	8			
Claraboyas				

* Huecos que contienen elementos de sombra y se debe reellenar los casilleros a continuación

Características Geométricas de los Componentes de Sombras grupo 3*	
Longitud OD	Longitud OB
Angulo	Retranqueo



Observaciones

La vivienda en bloque esta acondicionada todas las plantas (5 plantas)

A.- Las paredes se las debe ubicarlas a sus respectivas orientaciones, por existir incertidumbre del porcentaje de sombra, también se considera el área en el casillero de exposición variable al sol (al este y al oeste)

B.- El patio interior se la considera a la sombra

C.- Los huecos a 45° en dirección SO y SE no tiene sombras del edificio

Edificio en bloque oficiales de comparación B3

Número de vivienda	Edificio N°6										
Localidad	Valencia										
Zona Climática	B3										
Tipo	Bloque										
Volumen Acondicionado [m³]	774							Suelo acond. [m²]	258		

ORIENTACIÓN	MUROS										Área de transf.	Compacidad		
	TIPO 1		U [W/m² K] = 0,52		TIPO 2		U [W/m² K] =		TIPO 2				J [W/m² K] =	
	ÁREA [m²]	Área con exposición variable al sol [m²]	Área expuesta al sol [m²]	ÁREA [m²]	Área con exposición variable al sol [m²]	Área expuesta al sol [m²]	ÁREA [m²]	Área con exposición variable al sol [m²]	Área expuesta al sol [m²]	Área expuesta al sol [m²]			Área expuesta al sol [m²]	
Exterior Norte/Sombra	133,5											520,75	1,486317811	
E Oeste	24	24	0						0					
Ext. Sur Oeste			0						0					
Ext. Sur	129,6	36	93,6						0					
Ext. Sur Este			0						0					
Ext. Este	24	24	0						0					
En sombra														

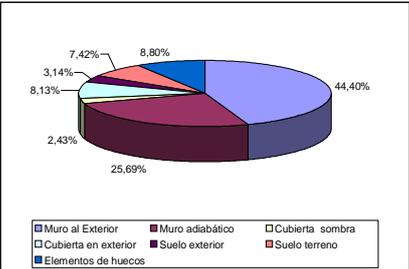
Muro a otro local	Área total [m²]	u [w/m²K]	A otro local no acond.	Área total [m²]	u [w/m²K]	Nivel de estanqueidad	del 1 ... 5
Muro al terreno			Profundidad	m			
Muro adiabático	180						

ORIENTACIÓN	TIPO 1		TIPO 2		TIPO 2	
	ÁREA [m²]	U [W/m² K]	ÁREA [m²]	U [W/m² K]	ÁREA [m²]	U [W/m² K]
Exterior Horizontal sol	57	0,57	Ext. 30° N			
Exterior horizontal sombra	17	0,57	Ext. 30° O			
			Ext. 30° SO			
			Ext. 30° S			
			Ext. 30° SE			
			Ext. 30° E			
Techo ventilado (forjado interior horizontal)			Buardilla Exterior	Área total [m²]	u [w/m²K]	
Techo a local no acondicionado	Sin ventana					Nivel de estanqueidad del 1 ... 5
Techo adiabático	Con ventana					

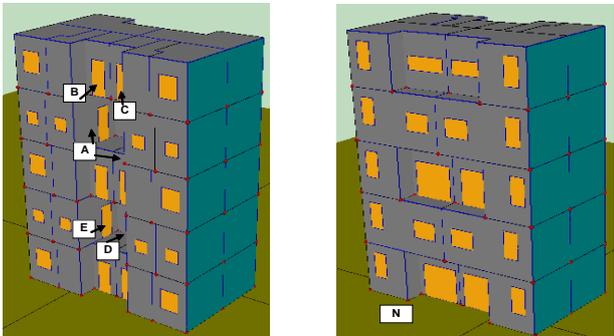
ORIENTACIÓN	TIPO 1		TIPO 2		TIPO 2	
	ÁREA [m²]	U [W/m² K]	ÁREA [m²]	U [W/m² K]	ÁREA [m²]	U [W/m² K]
Exterior	22	0,57	Suelo no acond. Exterior	Área total [m²]	u [w/m²K]	Nivel de estanqueidad del 1 ... 5
Suelo a otro local						
Suelo a Vaco sanitario			Pared exterior		Pared al terreno	
Suelo al terreno	52	0,92				
Suelo adiabático						
Aislamiento Perimetral						
D		1				
R		1				

VENTANAS		
	U [W/m² K]	Factor solar % cubierto
CRISTAL	3,3	0,75 90
MARCO	4	0,7

ORIENTACIÓN	GRUPO 1	GRUPO 2	GRUPO 3	GRUPO 4	GRUPO 5	GRUPO 6	GRUPO 7**	GRUPO 8**	GRUPO 9* **	GRUPO 10* **	Área Total m²
	ALTO: 0,75 ANCHO: 2	ALTO: 1,2 ANCHO: 1	ALTO: 0,75 ANCHO: 0,7	ALTO: 1,5 ANCHO: 0,75	ALTO: 2 ANCHO: 2	ALTO: 1 ANCHO: 1,25	ALTO: 2 ANCHO:0,75	ALTO: 2 ANCHO:0,75	ALTO: 2 ANCHO:0,75	ALTO: 2 ANCHO:0,75	
Ventana Sombra Norte	2			10	4	4					61,65
Ventan. Oeste										2**	
Ventana Sur Oeste											
Ventana Sur		6	8				3**	3**			
Ventana Sur Este											
Ventana Este										2**	
Claraboyas											

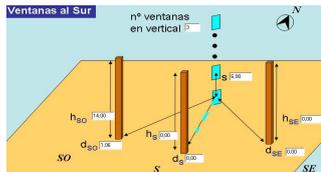


* Huecos que contienen elementos de sombra y se debe rellenar los casilleros a continuación
Características Geométricas de los Componentes de Sombras grupo 3*
 Longitud OD 3 Longitud OB 1
 Angulo 90 Retranqueo



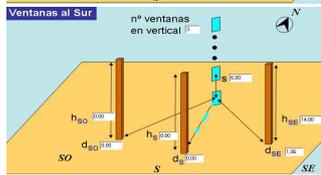
Observaciones
 La vivienda en bloque esta acondicionada todas las plantas (5 plantas).
 A.- Las paredes se las debe ubicarlas a sus respectivas orientaciones, por existir incertidumbre del porcentaje de sombra, también se considera el área en el casillero de exposición variable al sol (al este y al oeste)

C.2. EDIFICIOS QUE SE UTILIZARON PARA VALIDAR EL PROCEDIMIENTO SIMPLIFICADO



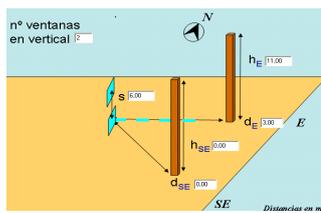
B.- Posibles sombras en la dirección SO, por tanto deben rellenar los datos que se muestra en la figura

GRUPO 7**	
h _{SO} =	14
d _{SO} =	1,06
s =	6
Nº ventanas =	3



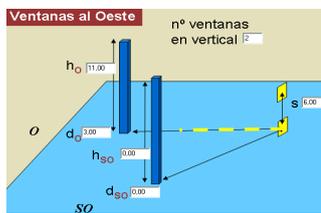
C.- Posibles sombras en la dirección SE, por tanto deben rellenar los datos que se muestra en la figura

GRUPO 8**	
h _{SE} =	14
d _{SE} =	1,06
s =	6
Nº ventanas =	3



D.- Posibles sombras al frente del edificio (Este) y en la dirección SE no posee sombras por tanto deben rellenar los datos que se muestra en la figura

GRUPO 9**	
h _E =	11
d _E =	3
s =	6
Nº ventanas =	2



E.- Posibles sombras al frente del edificio (oeste) y en la dirección SE no posee sombras por tanto deben rellenar los datos que se muestra en la figura

GRUPO 10**	
h _O =	11
d _O =	3
s =	6
Nº ventanas =	2

C.2. Edificios que se utilizaron para validar el procedimiento simplificado existente

Las gráficas muestran los edificios utilizados para validar el procedimiento simplificado existente, que componen de 11 viviendas unifamiliares y 10 edificios en bloques.

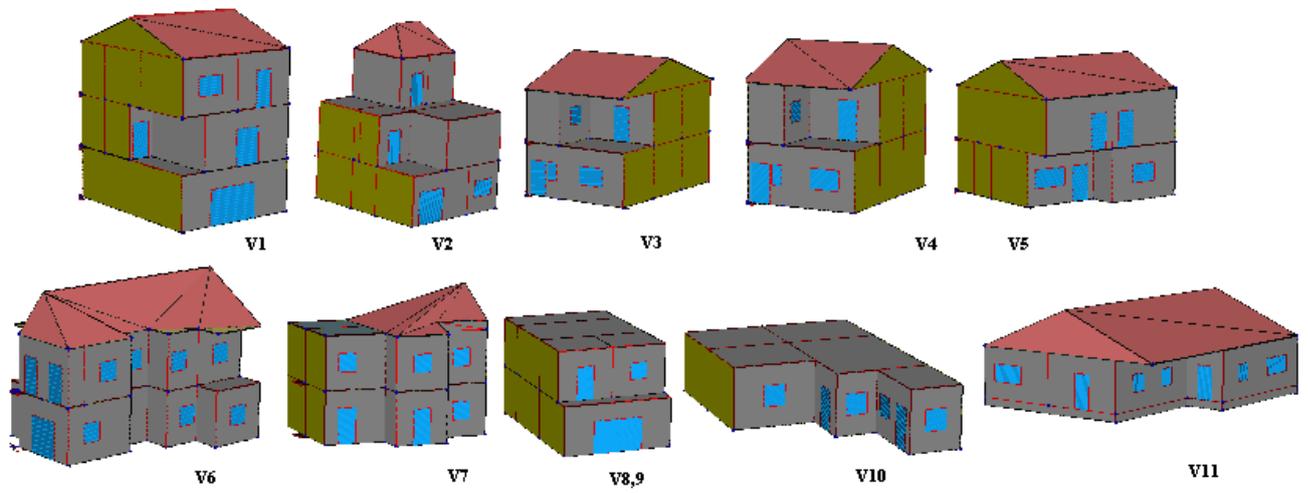


Figura C.3: 11 Viviendas unifamiliares utilizadas para validar el procedimiento simplificado existente.

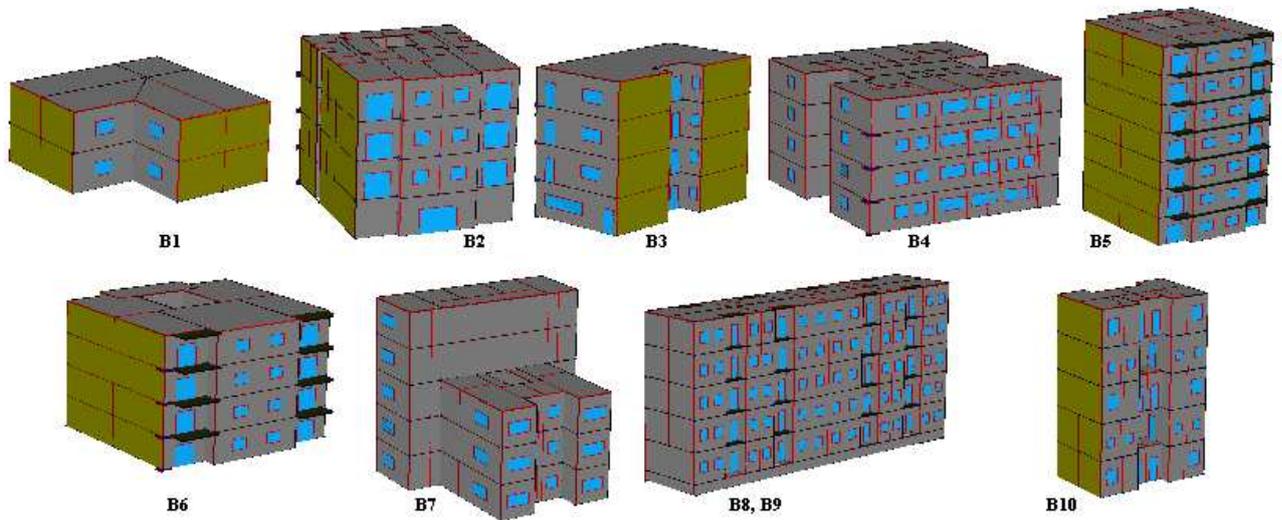


Figura C.4: 10 Viviendas en bloques utilizadas para validar el procedimiento simplificado existente.

Apéndice D

Resultados DDGH para las zonas climáticas de España

Se define DDGH como el potencial termodinámico aplicado a la “fuerza termodinámica” $\Delta\Delta t$. A continuación se verá como se puede llegar a su definición. La suma anual de la capacidad de refrigeración \dot{Q}_e muestreados en cada hora de un año Juliano (8760 valores) representa el efecto de enfriamiento total (kWh / año) (Q_e) por año, y se puede calcular como:

$$\begin{aligned} Q_e &= \sum_{n=1}^{8760} \dot{Q}_e \cdot (1hour) = \sum_{n=1}^{8760} s \cdot (\Delta\Delta t - \Delta\Delta t_{min}) \cdot (1hour) \\ Q_e &= s \sum_{n=1}^{8760} \{((t_g^{eq} - t_a) - B(t_a + 2.5 - t_e)) - \Delta\Delta t_{min}\} \cdot (1hour) \quad (D.1) \end{aligned}$$

La parte en paréntesis de la ecuación anteriores dependen del clima (temperatura de bulbo húmedo t_a), el tipo de servicio temperatura de evaporación (t_e) y la temperatura de equilibrio (en el acople captador máquina t_g^{eq}). Y este último término depende principalmente de la tecnología de máquina de absorción $\{\alpha, \Delta\Delta t_{min}\}$, la relación de ψ y las características de los captadores solares $\{FR_{\tau\alpha}, FR_{UL}\}$. Por tanto, si las tecnologías de la máquina de absorción y colectores solares son elegidos, entonces el término dentro del paréntesis sólo depende, del clima, de ψ y la temperatura de servicio t_e . Así, el DDGH se puede definir como:

$$DDGH = \sum_{n=1}^{8760} \{((t_g^{eq} - t_a) - B(t_a + 2.5 - t_e)) - \Delta\Delta t_{min}\} \cdot (1hour)$$

y el efecto de enfriamiento por año de una máquina de absorción de cualquier tamaño s de la tecnología de refrigeración elegido podría expresarse simplemente como:

$$Q_e[kWh] = s \cdot DDGH \quad (D.2)$$

Tabla D.1: Zonas climáticas de España, en función de la severidad climática.

4	Almería	Sevilla	Toledo		
3	Cádiz	Valencia	Granada	Madrid	
2			Barcelona	Zamora	
1			Bilbao	Vitoria	Burgos
	A	B	C	D	E

donde

$s=0.1kW/K$ tamaño unitario de máquina

Según la Normativa de certificación energética española los climas se clasifican con una letra y un número como muestra la tabla (D). La letra representa las condiciones de invierno y se ordena de la A a la E (de menor a mayor severidad), por otro lado la representación numérica corresponde las condiciones de verano ordenadas del 1 al 4 (de menor a mayor severidad).

Teniendo presente que el ψ influye sobre la producción anual de frío las tablas ayudan a estimar rápidamente el tamaño de máquina y el tamaño de captadores para una producción de frío anual.

En las tablas siguientes se tiene los resultados de DDGH (planteamiento matemático realizado en el capítulo 7) para las 12 zonas climáticas de España (ciudades representativas de cada zona climática), para dos diseños de máquina (considerados buen y mal diseño) y dos temperaturas de evaporación.

ZONA CLIMATICA "A3" (CADIZ)				
DDGH (°C h)				
Ψ (m2 K / kW)	Te: 5 (°C)		Te: 14 (°C)	
	$\alpha = 0.2$	$\alpha = 0.5$	$\alpha = 0.2$	$\alpha = 0.5$
50	-	-	-	-
60	-	4114.3	-	-
70	1296.3	13910.5	-	1649.8
80	8466.5	24499.5	253.9	10460.3
90	18227.2	36246.0	5718.0	22674.8
100	27707.2	48748.5	15790.9	33983.8
110	38859.4	59596.1	27328.6	47069.8
120	50210.4	71872.7	37445.4	60818.2
130	60345.1	84222.1	49958.7	72231.2
140	70850.2	94015.6	62261.3	84207.4
150	81920.3	103194.1	72815.6	97341.8
160	90639.1	111801.4	83506.1	107383.8
170	98608.7	119156.1	94749.5	116397.1
180	106850.9	125035.4	104059.1	125845.6
190	114183.7	130475.9	111847.9	134419.6
200	120253.7	135254.4	120642.3	141290.4
210	125745.9	139931.3	128617.8	147509.1
220	130445.4	144490.2	136448.7	152737.0
230	134707.7	148301.1	142262.4	157531.6
240	138520.7	152137.1	147708.1	161736.6
250	142363.4	155991.8	152796.8	166053.9
260	146026.9	159942.3	156772.9	170273.4
270	149113.7	162888.0	160539.6	173726.5
280	152425.4	165792.5	164397.2	177335.3
290	155637.1	167957.2	168208.1	181061.0
300	158559.8	170476.0	171568.1	184575.9
350	170385.7	180265.0	186582.7	198176.2
400	179362.7	188277.5	197989.8	208357.5
450	186453.9	194481.8	207383.2	216590.4
500	192040.4	199824.2	214896.7	223014.5
550	197196.7	204259.9	221020.4	228961.9
600	201546.2	207952.9	226328.8	233831.7
650	205043.8	210875.0	230863.2	237697.1
700	208331.3	213042.6	234965.5	241624.4

Table D.2: DDGH para diferentes combinaciones, para la ciudad de Cádiz.

ZONA CLIMÁTICA "A4" (ALMERÍA)				
DDGH (°C h)				
Ψ (m ² K/kW)	Te: 5 (°C)		Te: 14 (°C)	
	$\alpha = 0.2$	$\alpha = 0.5$	$\alpha = 0.2$	$\alpha = 0.5$
50	-	119.9	-	-
60	248.5	5769.9	-	-
70	2326.0	14635.4	-	2906.4
80	9631.4	24458.5	592.0	11751.7
90	18667.5	36416.1	7654.5	23155.4
100	27647.5	46954.0	17097.0	33789.8
110	38593.4	58327.6	27073.2	46993.8
120	48731.5	69288.0	37883.6	58704.7
130	58820.9	80027.3	49247.2	70264.9
140	68275.8	90352.7	60283.2	81404.2
150	77456.7	98658.1	70628.4	91858.0
160	86991.8	106703.5	80188.3	102862.1
170	94948.3	113778.7	89898.9	112145.4
180	102165.8	119996.7	99184.3	120604.7
190	108809.5	126219.5	107664.6	128133.3
200	115094.2	131391.5	115964.7	135112.0
210	120669.8	136499.0	123686.0	141579.4
220	125913.6	141609.9	129877.3	147540.1
230	130374.7	145792.7	135915.9	152624.7
240	134735.5	149694.2	141779.1	157402.3
250	139033.5	153409.8	146979.2	162445.7
260	142959.7	157056.3	152024.9	166839.1
270	146878.5	160431.3	155808.5	171309.2
280	150011.3	163660.0	160273.7	174831.5
290	153289.2	166273.2	164114.6	178707.2
300	156114.0	169011.0	168053.4	181943.8
350	168992.6	179300.2	184129.1	196726.2
400	178338.7	187727.9	196756.8	207435.1
450	185956.7	193953.9	206750.5	216053.1
500	191912.2	199015.4	213882.6	222857.4
550	196656.6	203344.0	220585.2	228172.5
600	200969.6	206299.1	225641.3	233240.9
650	204246.2	209288.8	230294.6	236801.4
700	206761.9	212123.7	234469.4	239624.5

Table D.3: DDGH para diferentes combinaciones, para la ciudad de Almería.

ZONE CLIMÁTICA " B3 " (VALENCIA)				
DDGH (K h)				
Ψ (m2 K / kW)	Te: 5 (°C)		Te: 14 (°C)	
	$\alpha = 0.2$	$\alpha = 0.5$	$\alpha = 0.2$	$\alpha = 0.5$
50	-	89.75	-	-
60	-	2514.24	-	-
70	828.53	9433.77	-	1038.65
80	5554.68	16676.57	293.38	6687.54
90	11858.26	25649.53	3806.29	14678.83
100	19360.11	34400.59	10909.02	23693.10
110	27499.28	43741.26	18082.34	33379.92
120	35754.89	53443.16	26614.61	43226.85
130	44133.69	62540.90	35956.56	52956.60
140	52888.86	71430.58	44848.99	63055.52
150	61223.51	79729.93	53343.18	72877.58
160	69382.73	87187.94	62164.15	82281.77
170	76571.72	94301.89	71473.85	90795.20
180	83736.90	100761.37	80403.95	98697.13
190	89726.23	106723.04	87857.42	105604.01
200	96311.12	111860.38	94755.00	113316.08
210	101768.28	116522.22	101993.15	119700.97
220	107234.02	121350.08	108044.76	125835.68
230	111691.66	125592.90	114881.91	130883.28
240	115618.64	129399.14	120783.31	135350.30
250	119674.00	133136.62	125826.69	139874.45
260	123444.00	136534.77	130380.66	144116.97
270	126826.11	139902.29	134275.69	148093.02
280	130332.35	143652.54	137959.05	152139.65
290	133481.92	146084.83	142260.52	155747.60
300	136220.49	148508.05	145996.71	158811.90
350	149486.53	159252.62	161908.34	174239.02
400	158619.21	168177.96	174748.50	184633.13
450	166551.77	175302.74	183787.96	193605.05
500	173097.01	180975.84	192311.81	201155.62
550	178231.96	185395.85	198995.39	206888.23
600	182928.62	189738.33	204688.98	212396.14
650	186628.59	193585.68	209590.16	216603.54
700	190296.33	197421.62	213557.09	220630.43

Table D.4: DDGH para diferentes combinaciones, para la ciudad de Valencia.

ZONA CLIMÁTICA "B4" (SEVILLA)				
DDGH (°C h)				
Ψ (m ² K / kW)	Te: 5 (°C)		Te: 14 (°C)	
	$\alpha = 0.2$	$\alpha = 0.5$	$\alpha = 0.2$	$\alpha = 0.5$
50	-	-	-	-
60	-	1991.67	-	-
70	663.95	10989.80	-	738.16
80	6133.15	21734.75	-	7489.22
90	16200.18	32581.65	3701.51	20064.29
100	25494.31	43465.65	13887.85	31443.10
110	35513.32	54171.96	25165.61	43349.11
120	45562.74	65704.34	35685.96	55010.20
130	55359.35	76277.66	46475.04	66058.81
140	65661.39	86133.42	57003.00	77912.34
150	74816.65	95330.36	67586.98	88619.82
160	83723.65	102826.73	77595.03	98839.74
170	91345.88	110820.17	87013.88	107778.10
180	98942.19	117550.48	96567.84	116614.89
190	105930.84	123062.15	104524.86	124583.34
200	112773.04	128320.51	112182.28	132395.39
210	118342.00	133030.56	119409.51	138984.10
220	123311.66	137230.63	127496.21	144533.76
230	128158.88	141080.66	134233.52	149911.43
240	132056.95	145457.58	139669.95	154327.94
250	135578.22	148979.03	144840.60	158446.72
260	139386.49	152884.09	149184.46	162531.36
270	142569.59	155967.15	153717.00	166265.81
280	145792.29	159254.53	157374.73	169829.70
290	149359.98	161986.73	160584.58	173828.70
300	152152.18	165141.05	164007.16	176982.51
350	165462.87	175897.08	179707.30	192598.32
400	175162.17	184501.60	192427.08	203634.73
450	182790.12	190769.56	203055.39	212549.04
500	188941.55	195708.31	211110.04	219514.80
550	193796.05	200278.89	217364.54	224925.07
600	197748.47	204062.42	222841.31	229312.91
650	201545.08	207439.04	227229.49	233677.73
700	204692.35	209662.11	237182.56	237182.56

Table D.5: DDGH para diferentes combinaciones, para la ciudad de Sevilla.

ZONA CLIMÁTICA "C1" (BILBAO)				
DDGH [°C h]				
Ψ (m ² K / kW)	Te: 5 [°C]		Te: 14 [°C]	
	$\alpha = 0.2$	$\alpha = 0.5$	$\alpha = 0.2$	$\alpha = 0.5$
50	-	-	-	-
60	-	-	-	-
70	-	917.45	-	-
80	439.22	3016.28	-	528.06
90	1646.76	6657.36	-	2016.74
100	4213.07	10879.12	1147.60	5113.05
110	7815.25	15202.81	3385.38	9618.65
120	11312.56	19609.63	6438.89	13868.07
130	15238.52	23967.61	10479.22	18586.99
140	19184.07	27811.69	14394.41	23044.42
150	23164.65	32413.80	18645.90	27732.43
160	26777.57	36827.46	22950.44	31934.12
170	30405.07	41128.02	27062.10	36097.43
180	34394.76	44467.89	30908.65	40914.61
190	37983.69	48420.48	34815.58	45006.23
200	41665.42	51970.06	38474.00	49402.12
210	44811.72	55153.88	42480.74	52938.15
220	48110.31	58640.63	46150.03	56743.59
230	51165.23	62039.11	49883.95	60422.74
240	54321.69	65264.58	53325.87	63943.70
250	57056.31	67792.98	56490.79	67263.18
260	60121.16	70804.04	59841.87	70681.92
270	62819.55	73501.96	62878.43	73633.60
280	65607.40	76378.27	66095.65	77142.72
290	68281.41	79147.46	68993.05	80261.95
300	70490.67	81776.42	71904.95	82867.56
350	82256.47	92569.99	84851.93	96460.19
400	91911.53	102099.71	96840.93	107565.52
450	100028.84	109902.97	106691.78	116832.53
500	107344.28	116175.86	115397.96	125449.98
550	113258.11	122217.43	123122.77	132294.61
600	118564.10	126964.90	129674.94	138272.84
650	123573.08	130777.50	135017.86	144254.35
700	127590.17	134731.56	140665.94	148768.99

Table D.6: DDGH para para diferentes combinaciones, para la ciudad de Bilbao.

ZONA CLIMÁTICA "C2" (BARCELONA)				
DDGH (°C h)				
Ψ (m ² K/kW)	Te: 5 (°C)		Te: 14 (°C)	
	$\alpha = 0.2$	$\alpha = 0.5$	$\alpha = 0.2$	$\alpha = 0.5$
50	-	-	-	-
60	-	1595.08	-	-
70	265.96	6688.45	-	176.15
80	3700.86	12694.08	-	4700.34
90	8830.55	20029.64	2517.60	10977.21
100	14829.13	28538.85	7702.45	18217.12
110	21955.31	36816.11	13972.60	26769.35
120	29426.06	45636.48	20839.08	35362.63
130	37187.92	54116.76	28691.87	44707.08
140	44879.92	62170.38	36545.45	53714.64
150	52862.05	70096.03	45269.82	63022.06
160	60158.30	77160.39	53210.96	71407.39
170	67239.15	84613.24	61221.98	79867.44
180	73676.04	90410.28	69197.07	87269.34
190	80327.21	96919.51	76969.60	94577.30
200	86319.44	102611.98	84345.04	101810.79
210	91550.71	107969.12	90561.79	107932.27
220	96539.97	112597.00	97144.66	113460.27
230	101776.94	116861.98	103049.83	119439.73
240	106616.96	120890.37	108620.19	125057.44
250	111043.21	124631.14	113622.54	130085.53
260	114790.40	128145.43	118334.22	134359.54
270	118611.67	131573.75	123250.27	138862.32
280	122005.97	134739.52	128293.15	142600.97
290	125321.68	137783.57	132375.20	146567.05
300	128024.70	140461.17	136236.58	149598.39
350	141418.53	151224.54	152579.52	164649.37
400	150774.62	159299.47	165390.05	175493.00
450	157901.36	166556.07	174967.33	183367.84
500	164483.58	172024.06	182158.67	191122.41
550	169405.89	177354.61	188866.22	196633.75
600	174068.43	181798.76	194763.33	202066.09
650	178357.28	185652.45	199074.34	207080.57
700	182347.97	189002.61	203684.54	211744.79

Table D.7: DDGH para diferentes combinaciones, para la ciudad de Barcelona.

ZONA CLIMATICA "C3" (GRANADA)				
DDGH (°C h)				
Ψ (m ² K /kW)	Te: 5 (°C)		Te: 14 (°C)	
	$\alpha = 0.2$	$\alpha = 0.5$	$\alpha = 0.2$	$\alpha = 0.5$
50	-	-	-	-
60	-	-	-	-
70	-	3998.48	-	-
80	1432.05	13179.92	-	1814.26
90	8541.57	22705.54	306.20	10653.56
100	17576.33	32142.61	6294.25	21834.76
110	26265.58	43124.94	15917.74	32235.93
120	34754.73	53512.76	26462.21	42058.87
130	45199.05	62679.33	35405.62	54234.58
140	54806.75	72154.99	44930.83	65476.40
150	63069.86	81298.45	56485.80	74947.38
160	70852.56	90121.17	66744.83	83641.31
170	78878.82	97742.69	75115.63	93147.70
180	86511.18	104730.08	82871.92	101954.60
190	94017.82	110727.58	91316.17	110767.95
200	100826.29	116265.11	98663.74	118664.34
210	106930.17	121528.20	106676.28	125625.22
220	112201.06	125785.85	113546.31	131703.30
230	116850.30	130132.81	121130.74	137035.98
240	121467.02	133854.76	127369.02	142171.23
250	125454.79	137469.22	132766.03	146863.93
260	129226.56	140921.76	137623.27	150990.45
270	132620.54	144136.29	141960.88	154891.84
280	135864.60	147711.08	146309.19	158498.08
290	139077.31	151143.82	149988.17	161883.28
300	141853.98	153884.92	153777.04	165242.02
350	155350.01	165652.43	168426.75	180791.98
400	165413.83	174496.51	181778.34	192228.77
450	173468.22	181768.47	192076.38	201627.55
500	180144.79	187324.44	200235.33	209282.62
550	185651.57	192034.24	207555.36	215538.05
600	189956.04	195766.17	213706.87	220358.99
650	193675.35	199347.88	218565.00	224668.58
700	196903.42	202212.84	222657.61	228306.94

Table D.8: DDGH para diferentes combinaciones, para la ciudad de Granada.

ZONA CLIMÁTICA "C4" (TOLEDO)				
DDGH (°C h)				
ψ (m ² K / kW)	Te: 5 (°C)		Te: 14 (°C)	
	$\alpha = 0,2$	$\alpha = 0,5$	$\alpha = 0,2$	$\alpha = 0,5$
50	-	-	-	-
60	-	234.24	-	-
70	-	5862.86	-	-
80	3176.49	14733.35	-	3979.06
90	10079.05	23285.01	1018.92	12374.41
100	18155.23	34098.18	8196.52	22358.66
110	26581.88	43816.68	17265.10	32190.46
120	36282.68	52953.69	26461.47	43823.47
130	45303.87	62189.23	35297.24	54495.19
140	53786.43	71184.45	45976.82	64253.64
150	61573.55	80305.50	56019.08	73181.53
160	69264.50	88737.65	65124.60	81534.51
170	77313.31	95705.71	73071.07	91205.35
180	85344.13	102073.14	80304.84	100593.22
190	92272.58	107646.84	87884.84	108797.82
200	98384.60	112340.83	96898.38	115745.72
210	103607.48	116895.45	104952.82	121618.24
220	108544.16	121343.34	111864.08	127288.19
230	112624.21	125396.86	117808.71	131923.66
240	116752.20	128976.68	123124.85	136369.98
250	120863.03	132514.57	127571.01	141385.78
260	124515.11	136134.70	132330.69	145467.94
270	127644.34	139582.95	136166.72	148911.82
280	130902.53	142505.08	140636.85	152554.67
290	133424.02	145480.48	144579.45	155325.05
300	136304.50	147956.53	147769.95	158455.88
350	148943.47	159181.68	161673.40	173314.62
400	158604.11	167766.66	174237.97	184483.35
450	166619.43	174499.91	184014.17	193788.31
500	173002.03	179708.77	192784.33	201085.09
550	177832.02	184717.28	199436.33	206512.14
600	182354.25	188888.40	204966.83	211631.77
650	186328.39	192253.60	209515.18	216022.34
700	189875.17	195122.46	213990.94	220124.63

Cuadro D.9: DDGH para diferentes combinaciones, para la ciudad de Toledo.

ZONA CLIMÁTICA "C2" (VITORIA)				
DDGH (°C h)				
ψ (m ² K / kW)	Te: 5 (°C)		Te: 14 (°C)	
	$\alpha = 0.2$	$\alpha = 0.5$	$\alpha = 0.2$	$\alpha = 0.5$
50	-	-	-	-
60	-	-	-	-
70	-	1269.02	-	-
80	303.97	4761.74	-	395.03
90	2496.91	9272.57	43.56	3152.56
100	6536.78	14530.85	1769.12	8139.64
110	10843.67	20522.03	5340.00	13313.06
120	16138.15	26715.62	10029.58	19669.72
130	21155.23	33014.52	15035.13	25729.57
140	27076.67	38734.91	20915.97	32454.92
150	32738.70	44311.38	26516.28	39103.57
160	37694.42	49629.63	33016.92	44962.41
170	42409.59	54806.96	38804.01	50287.04
180	47415.07	59742.38	44221.47	56160.30
190	51968.25	64314.68	49015.64	61427.14
200	56422.62	68955.16	53712.86	66627.09
210	60750.17	72686.20	58896.64	71733.54
220	65061.20	76745.97	63783.33	76725.73
230	68835.15	80584.37	68154.61	80878.91
240	72280.79	83612.12	72476.26	85013.74
250	75775.64	86733.47	76563.83	88927.60
260	79203.92	89848.29	80487.52	93033.52
270	82583.51	92920.70	84511.33	96745.59
280	85341.71	95708.24	88127.88	100123.68
290	88159.21	98453.93	91561.93	103132.57
300	90346.25	101470.40	94996.47	105766.31
350	102678.24	113173.12	108882.21	119914.27
400	112858.88	122075.19	121172.74	131738.32
450	120907.94	129818.41	131535.78	140967.25
500	128016.08	136109.67	140294.44	149228.00
550	134029.30	141607.71	147160.12	155974.19
600	139126.62	146245.08	153996.34	161885.94
650	143646.49	150626.78	159302.92	167160.34
700	147754.19	153926.69	163903.71	171646.26

Table D.10: DDGH para diferentes combinaciones, para la ciudad de Vitoria.

ZONA CLIMÁTICA " D2 " (ZAMORA)				
DDGH (°C h)				
Ψ (m ² K / kw)	Te: 5 (°C)		Te: 14 (°C)	
	$\alpha = 0,2$	$\alpha = 0,5$	$\alpha = 0,2$	$\alpha = 0,5$
50	-	-	-	-
60	-	-	-	-
70	-	1475.34	-	-
80	401.36	7751.58	-	522.77
90	4786.85	15618.92	-	6057.53
100	11334.03	24009.00	3116.29	13968.36
110	19211.74	32367.47	10220.74	23620.84
120	26502.33	41754.17	18594.53	32219.00
130	34242.27	49492.42	27233.11	41407.21
140	43203.42	57725.09	34719.91	51771.95
150	49997.56	65137.04	43334.63	59453.45
160	57035.90	71629.20	52905.01	67589.78
170	64024.21	78152.93	60042.71	75690.51
180	69562.78	84850.22	67293.63	82079.66
190	75583.12	90602.36	74306.58	88898.53
200	81134.12	95590.02	80567.52	95211.71
210	87013.12	100374.25	86205.47	102243.12
220	92060.81	105001.62	92286.15	108061.91
230	96456.27	108817.99	97998.50	113051.56
240	100490.26	112240.65	104383.04	117701.79
250	104738.82	115438.29	108979.42	122494.02
260	108378.87	118991.16	113621.33	126816.59
270	111610.19	122179.65	117680.38	130562.28
280	114270.61	125103.02	122046.12	133495.48
290	117388.83	128064.22	125962.49	136931.68
300	120360.52	130669.81	129457.39	140288.82
350	132331.73	143710.24	143898.06	153981.23
400	144011.40	152913.67	155557.76	167594.72
450	152060.30	160511.90	167608.29	177026.17
500	159382.65	166599.24	176034.63	185371.14
550	165162.47	172239.76	183659.10	192070.34
600	169787.76	176214.14	190070.62	197236.67
650	174283.46	179890.05	195324.65	202297.65
700	177618.69	182797.19	200099.32	205896.94

Table D.11: DDGH para diferentes combinaciones, para la ciudad de Zamora.

ZONA CLIMÁTICA "D3" (MADRID)				
DDGH (°C h)				
Ψ (m ² K / kW)	Te: 5 (°C)		Te: 14 (°C)	
	$\alpha = 0,2$	$\alpha = 0,5$	$\alpha = 0,2$	$\alpha = 0,5$
50	-	-	-	-
60	-	-	-	-
70	-	2084.83	-	-
80	535.74	8051.07	-	654.83
90	4797.98	15518.52	-	6048.62
100	11726.58	23021.91	3850.55	14504.94
110	17992.93	31933.46	9780.40	22112.79
120	25423.11	39998.71	18172.26	31047.16
130	33579.37	47990.18	25296.17	40643.11
140	41049.21	55055.89	33329.66	49328.86
150	48028.52	62963.26	42248.08	57244.27
160	54728.42	70234.13	50144.27	64890.40
170	60875.77	76929.68	57537.74	71888.56
180	67278.49	82123.37	64402.95	79440.33
190	73739.20	87560.98	70380.31	86843.58
200	79626.04	92595.59	76857.42	93677.61
210	84192.59	97148.26	83389.53	98960.73
220	88817.42	101181.76	90173.06	104349.98
230	93127.87	104790.48	95996.46	109070.10
240	97347.66	108390.09	100808.54	114136.14
250	101057.11	111947.18	105428.65	118399.67
260	104308.54	115328.36	109640.43	122015.17
270	107369.59	118655.15	114079.47	125324.42
280	110437.27	121882.29	117781.73	128981.78
290	113544.97	125180.27	121437.12	132546.28
300	116291.30	128025.98	124546.60	135701.00
350	129562.92	140319.13	139146.66	150876.13
400	140386.50	149727.05	152249.34	163599.02
450	148779.24	157029.15	163495.48	173240.24
500	155752.46	163249.19	172009.20	181211.42
550	161334.16	168530.59	179576.65	187554.12
600	166335.92	172777.87	185565.71	193184.23
650	170789.48	176862.84	190892.72	198317.87
700	174160.44	180523.21	195738.67	202057.41

Table D.12: DDGH para diferentes combinaciones, para la ciudad de Madrid.

ZONA CLIMÁTICA "E1" (BURGOS)				
DDGH (°C h)				
ψ (m ² K/ kW)	Te: 5 (°C)		Te: 14 (°C)	
	$\alpha = 0.2$	$\alpha = 0.5$	$\alpha = 0.2$	$\alpha = 0.5$
50	-	-	-	-
60	-	-	-	-
70	-	1882.17	-	-
80	536.24	6772.19	-	570.00
90	4340.72	13190.19	-	5512.52
100	9487.78	19663.43	3128.23	11530.87
110	15774.02	26624.05	8436.72	19365.36
120	21550.50	33794.60	15173.97	26228.22
130	28137.76	40502.00	21687.05	33961.17
140	34672.70	46377.97	28062.98	41532.33
150	40713.44	52293.76	35377.77	48652.35
160	46076.99	58042.56	42195.73	54581.40
170	51028.90	64264.71	48997.54	60267.53
180	55810.45	69385.54	54420.63	65779.17
190	60980.79	74531.24	59357.89	71695.64
200	66290.28	78795.09	64164.97	78016.82
210	71091.54	83106.19	69209.45	83604.20
220	75375.32	86580.12	74648.56	88649.59
230	79335.39	89844.54	80106.69	93180.18
240	82962.53	93319.88	85194.78	97231.20
250	86387.37	96436.16	89628.84	101376.63
260	89341.03	99179.89	93318.34	104671.94
270	92062.03	101784.49	97073.37	107726.13
280	95080.81	104556.22	100785.19	111189.92
290	97875.36	107611.04	104019.50	114336.78
300	100098.72	110011.44	106815.17	116759.16
350	111745.62	121681.75	120117.12	130043.77
400	121861.30	131473.49	131521.28	141990.18
450	130385.81	139010.06	141886.67	151859.68
500	137585.33	145467.84	151213.88	160338.96
550	143569.35	151144.81	158837.33	167131.56
600	149114.67	156090.09	165223.99	173464.85
650	153506.33	160123.80	171139.21	178421.15
700	157669.82	163656.80	176261.55	183307.75

Table D.13: DDGH para diferentes combinaciones, para la ciudad de Burgos.

Apéndice E

Demandas y emisiones de CO_2 por zona climáticas

E.1. Demandas de calefacción

Las figuras (E1 - E6) se muestran el ajuste de la demanda de energía en calefacción de todos los casos analizados. En las 12 zonas climáticas españolas.

E.2. Demanda de refrigeración

Las figuras (E8-E11) se muestran el ajuste de la demanda de energía en refrigeración de todos los casos analizados, para cada una de las 12 zonas climáticas. Recordar que las zonas 1 (Bilbao, Vitoria y Burgos) no demandan refrigeración.

E.3. Emisiones de $kgCO_2/m^2$ por ciudades

Análogo al caso anterior en las figuras (E12-E17) se muestran el ajuste de las emisiones de $kgCO_2/m^2$ de todos los casos analizados, distribuidos por ciudades.

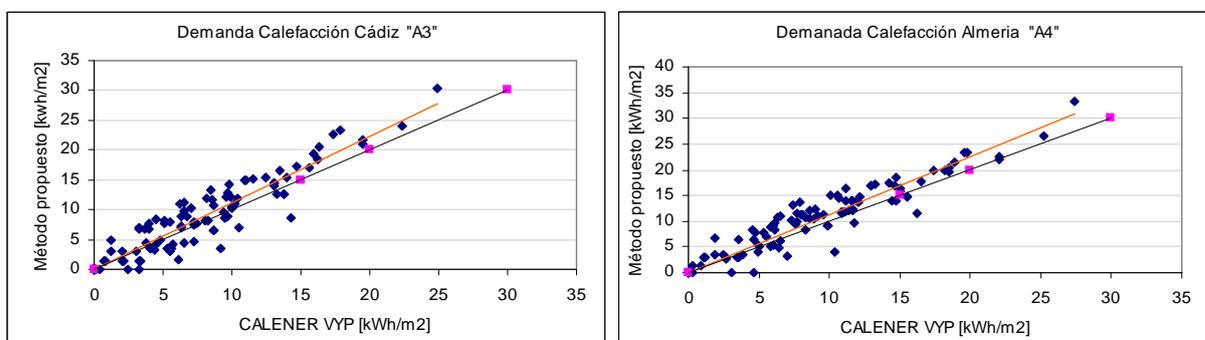


Figura E.1: Ajuste demanda de calefacción para Cádiz y Almería.

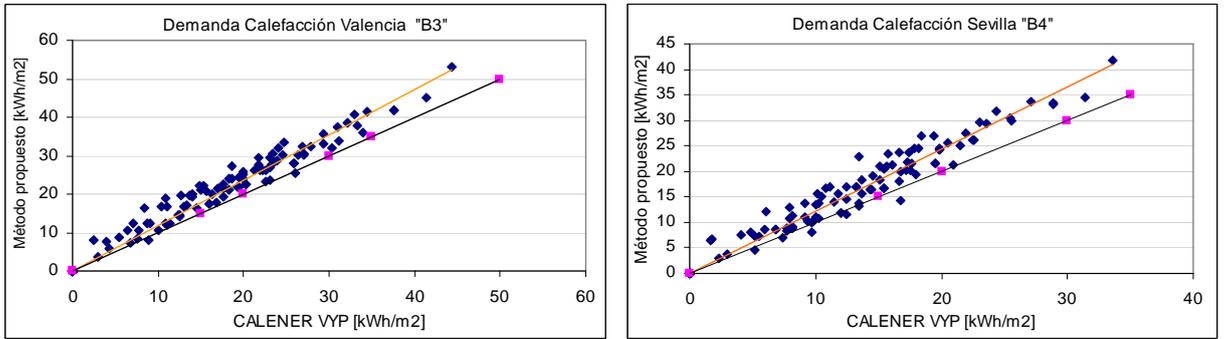


Figura E.2: Ajuste demanda de calefacción para Valencia y Sevilla.

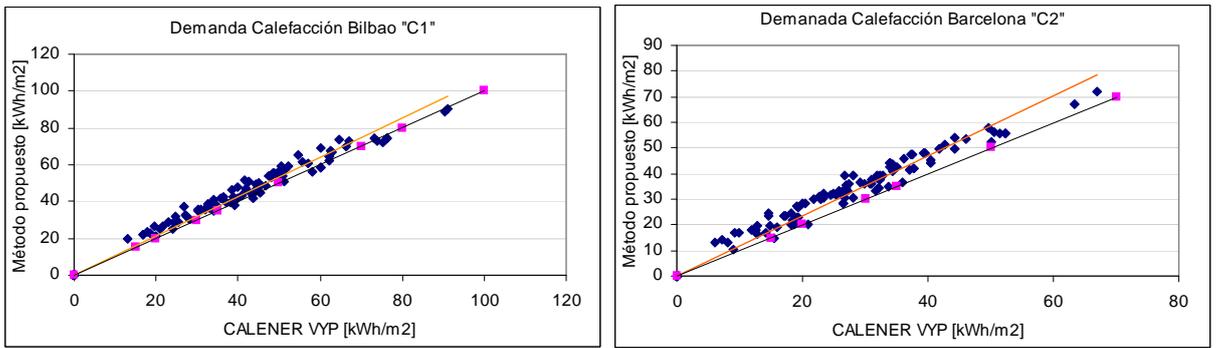


Figura E.3: Ajuste demanda de calefacción para Bilbao y Barcelona.

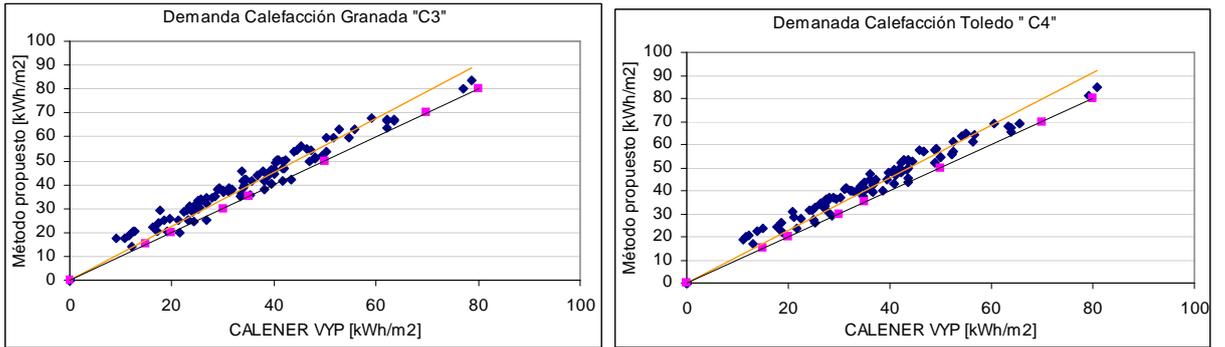


Figura E.4: Ajuste demanda de calefacción para Granada y Toledo.

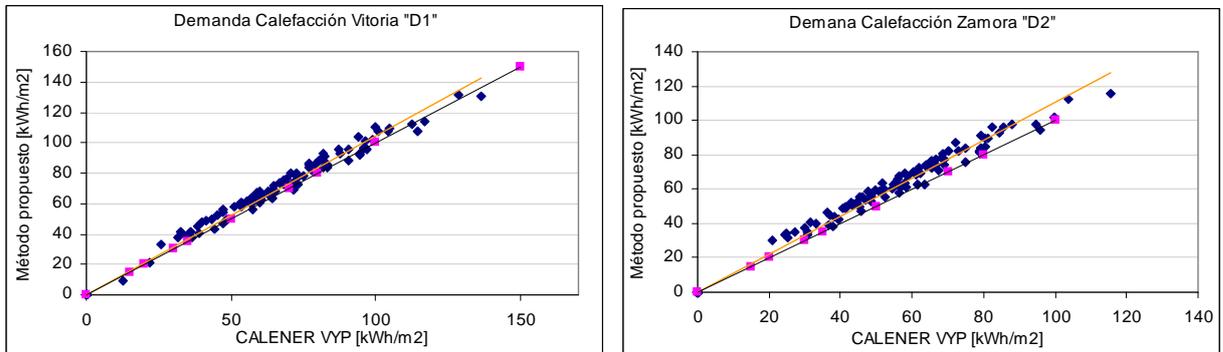


Figura E.5: Ajuste demanda de calefacción para Vitoria y Zamora.

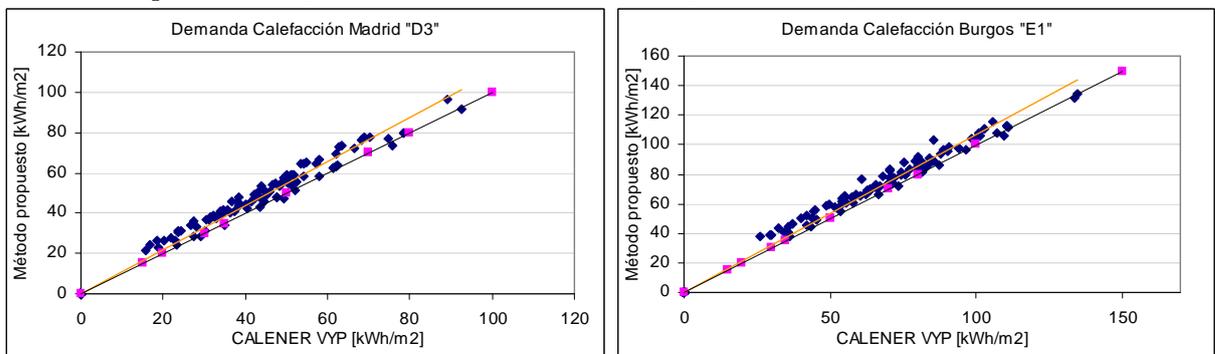


Figura E.6: Ajuste demanda de calefacción para Madrid y Burgos.

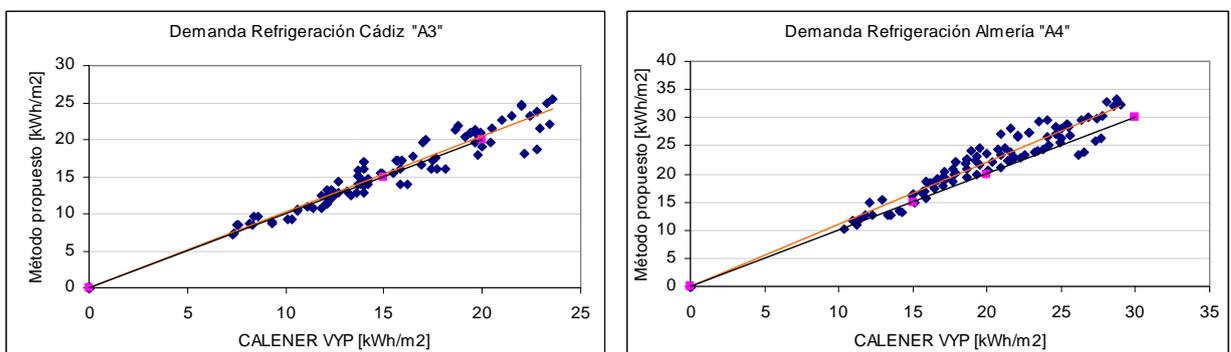


Figura E.7: Ajuste demanda de refrigeración para Cádiz y Almería.

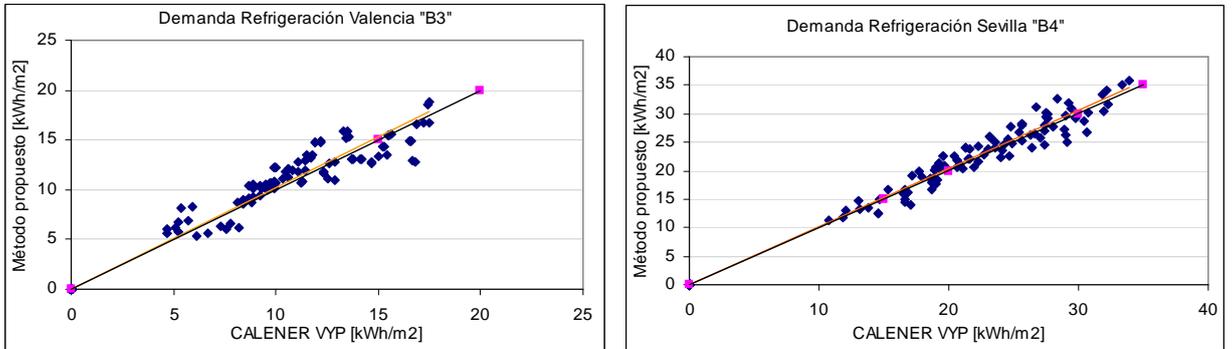


Figura E.8: Ajuste demanda de refrigeración para Valencia y Sevilla.

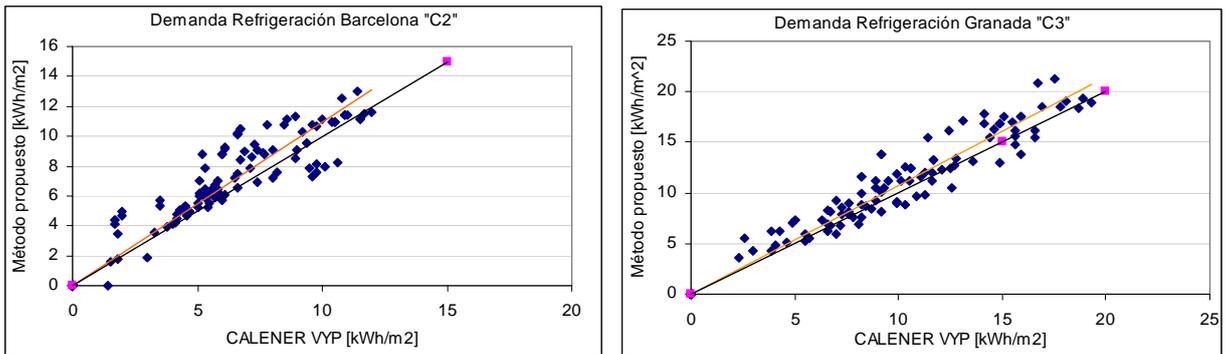


Figura E.9: Ajuste demanda de refrigeración para Barcelona y Granada.

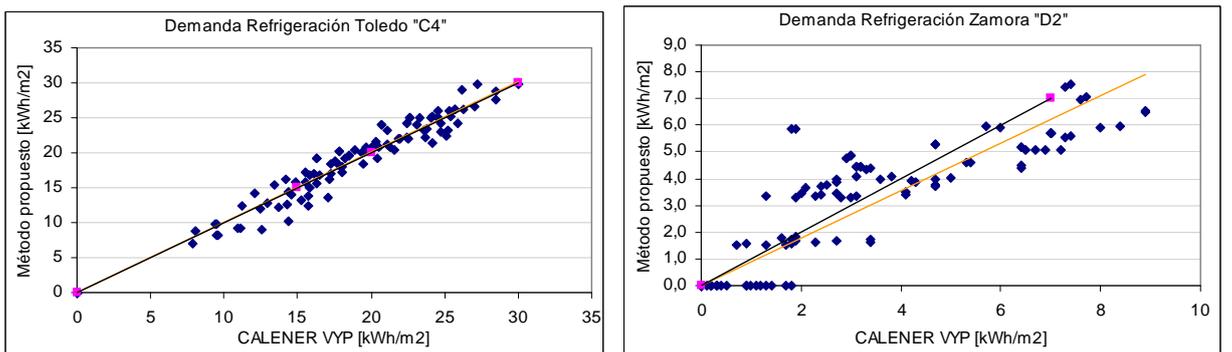


Figura E.10: Ajuste demanda de refrigeración para Toledo y Zamora.

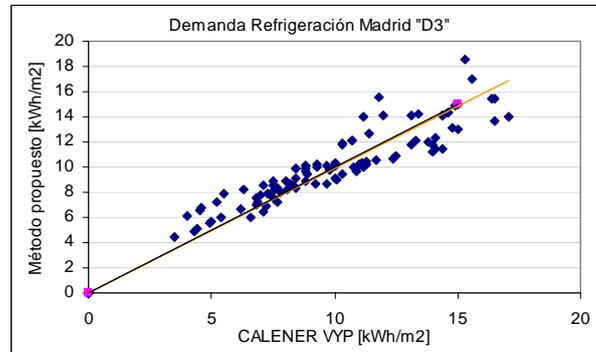


Figura E.11: Ajuste demanda de refrigeración para Madrid.

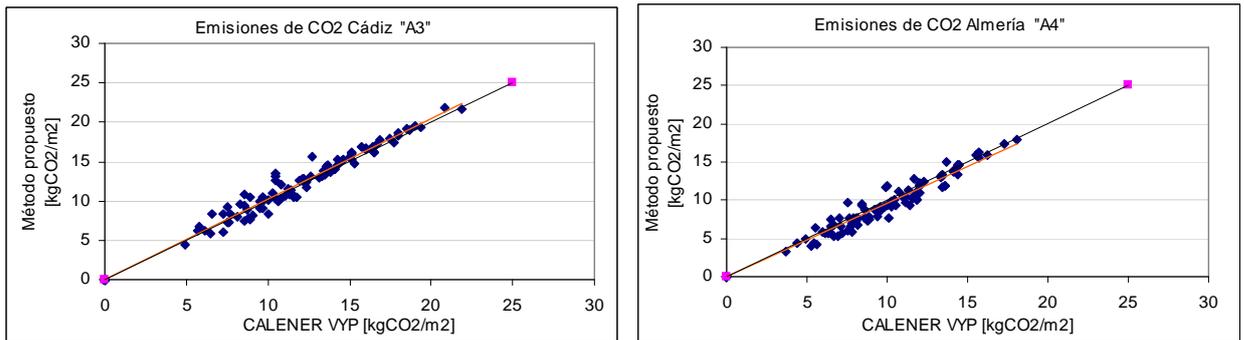


Figura E.12: Ajuste emisiones de $kgCO_2/m^2$ para Cádiz y Almería.

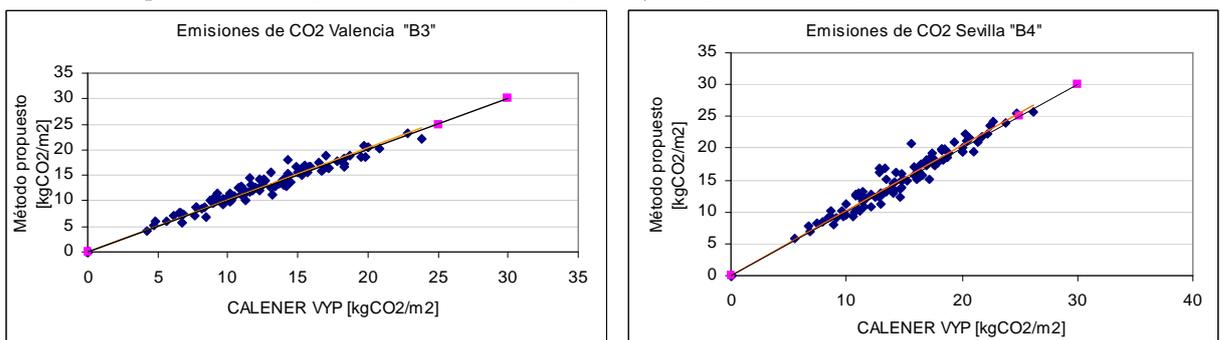


Figura E.13: Ajuste emisiones de $kgCO_2/m^2$ para Valencia y Sevilla.

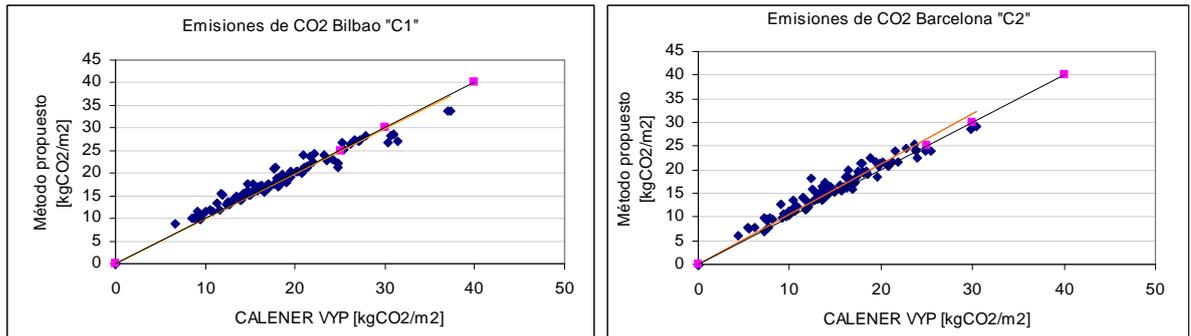


Figura E.14: Ajuste emisiones de $kgCO_2/m^2$ para Bilbao y Barcelona.

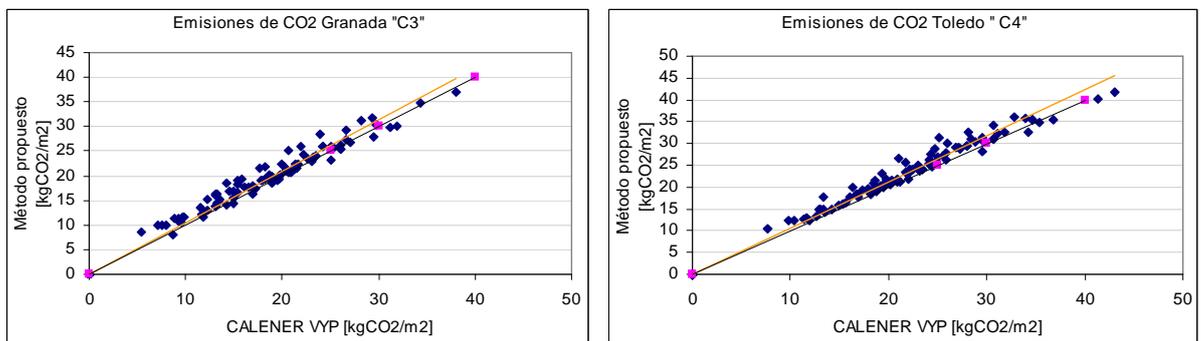


Figura E.15: Ajuste emisiones de $kgCO_2/m^2$ para Granada y Toledo.

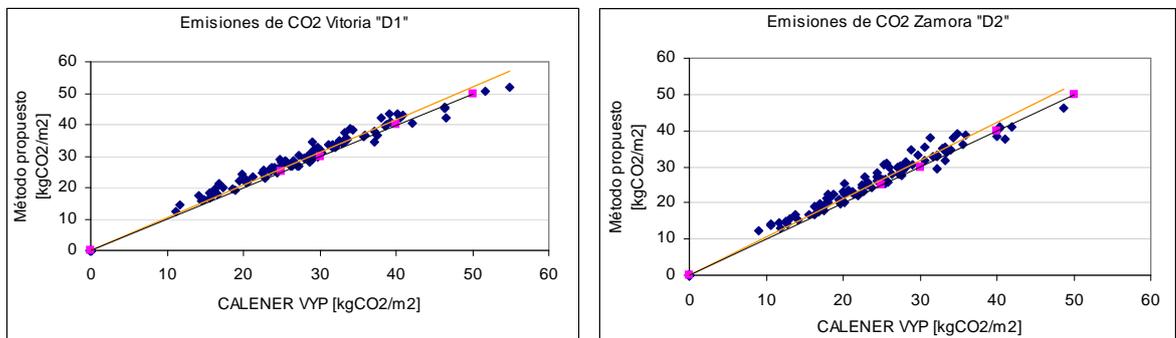


Figura E.16: Ajuste emisiones de $kgCO_2/m^2$ para Vitoria y Zamora.

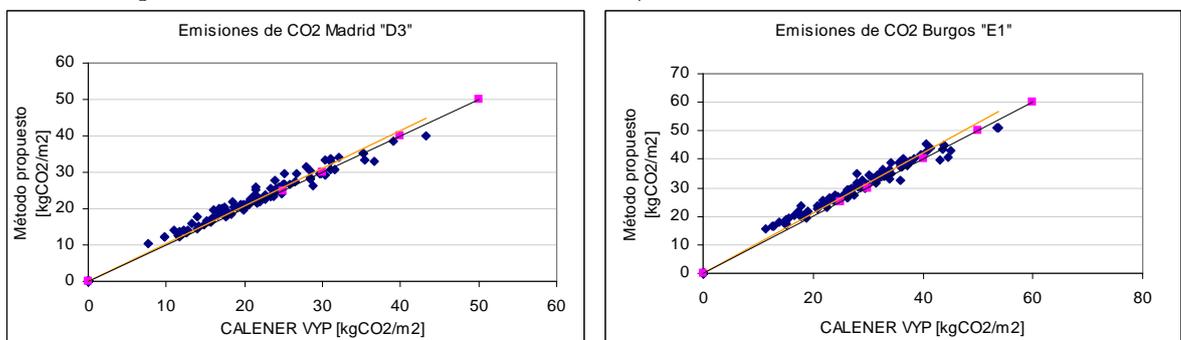


Figura E.17: Ajuste emisiones de $kgCO_2/m^2$ para Madrid y Burgos.

Referencias bibliográficas

- [1] Build up, energy solutions for better buildings, <http://www.buildup.eu>.
- [2] *Energy estimating methods*. Atlanta. ASHRAE, 1995.
- [3] Directive 2010/31/eu of the european parliament an of the council, of 19 may 2010 on the energy performance of buildings (recast). *Official Journal of the European Union*, pages 153(13–35), 2010.
- [4] *Documento básico HE Ahorro de Energía*. Código técnico de la edificación, Abril, 2009.
- [5] AENOR. *UNE 100-002-88. Climatización Grados-día base 15°C. Norma Española*. AENOR, Madrid, 1988.
- [6] AENOR. *UNE-EN ISO 13370, Transmisión de calor por el terreno, método de cálculo*. AENOR, Madrid, 1988.
- [7] AENOR. *UNE-EN ISO 13789, Prestaciones térmicas de los edificios. Coeficiente de transferencia de calor por transmisión y ventilación*. AENOR, Madrid, Septiembre 2010.
- [8] V.Soto J.M. Pinazo A.Garcia L, A.Garcia L. *DTIE 7.03 Entrada de datos a los programas LIDER y CALENER VYP*. ISBN 978-84-95010-26-1, Madrid 2008.
- [9] Tozer R. Agnew, B. Optimisation of ideal absorption cycles with external irreversibilities. In *Proc. of the Int. Sorption Heat Pump Conf.*, 1999.
- [10] Kasten Czeplak. *Solar Energy*, 24:177–189, Pergamon Press Ltd.
- [11] ATECYR (Asociación Técnica Española de Climatización y Refrigeración). *Fundamentos de Climatización*. 2010 ; ISBN:978-84-95010-34-6; Dep. Legal: M-12874-210.
- [12] Boletín Oficial de Estado. R.d. 316/ 2006, <http://www.boe.es/boe/dias/2006/03/22/pdfs/a11131-11131.pdf>.
- [13] Boletín Oficial de Estado. R.d. 47/2007, <http://www.boe.es/boe/dias/2007/01/31/pdfs/a04499-04507.pdf>.

- [14] Ministerio de Industria Turismo y Comercio. Documentos reconocidos; www.mityc.es/energia/desarrollo/eficienciaenergetica/certificacionenergetica/documentosreconocidos/paginas/documentosreconocidos.aspx.
- [15] Ministerio de Industria Turismo y Comercio. *Escala de Calificación Energética para Edificios de Nueva Construcción*.
- [16] Ministerio de Industria Turismo y Comercio. *programa Calener VYP, Certificación Energética de la Edificación*. Julio, 2009.
- [17] Ministerio de Industria Turismo y Comercio. *Condiciones climáticas exteriores de proyecto*. Mayo, 2010, ISBN: 978-84-96680-56-2.
- [18] Ministerio de Industria Turismo y Comercio. *Prestaciones medias estacionales de equipos y sistemas de producción de frío y calor en edificios de viviendas*. Septiembre 2008.
- [19] Código Técnico de la Edificación. *programa LIDER*. Julio, 2009.
- [20] IVE (Instituto Valenciano de la Edificación) versión 1.0. *OSE Opción simplificada en energía*.
- [21] ASHRAE Degelman LO. *Bin weather data for simplified calculation and variable degree-day information*.
- [22] Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja Departamento de Máquinas y Motores Térmicos de la Universidad de Cádiz, Grupo de Termotecnia de la Asociación de Investigación y Cooperación Industrial de Andalucía (AICIA). *Procedimiento simplificado para certificación de eficiencia energética de edificios de vivienda CE2 1.0*. 2008.
- [23] V. M. Soto E.J. Sarabia, E. V. Lamas. Air conditioning production by a single effect absorption cooling machine directly coupled to a solar collector field. application to spanish climates. *Solar Energy (under review)*, 2010.
- [24] Energy and Lawrence Berkeley Laboratory University of California Berkeley CA 94720 Environment Division, Building Energy Simulation Group. *DOE-2 Engineers Manual version 2.1A*. Prepared for the U.S. Department of Energy under Contract DE-AC03-76SF00098, November 1982.
- [25] Victor Manuel Soto Frances and Jose Manuel Pinazo Ojer. Multi-factorial study of the absorption process of h₂o(vap) by a libr(aq) in a horizontal tube bundle using 2-ethyl-1-hexanol as surfactant. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 47(14-16):3355–3373, 2004.
- [26] Ziegler F. Schweigler C. Hellmam, H.M. The characteristic equations of absorption chillers. In *In: Proc. of the Int. Sorption Heat Pump conf.*, pages 169–172. Munich, 1999.

- [27] Ziegler F. Hellmann, H.M. Simple absorption heat pump modules for system simulation programs. *ASHRAE Transactions*, 105:780–787, 1999.
- [28] Schweigler C. Hellmann H.M., Ziegler F. An approximative method for modelling the operating characteristics of advanced absorption chillers. In *20th International Congress of Refrigeration. IIR/IIF, Sydney (Australia)*, 1999.
- [29] Orhan Büyükalaca Hüsametdin Bulut. Bin weather data for turkey. *Renewable Applied Energy*, pages 135–155, 2001.
- [30] A. Aranda I. Zabala, S. Díaz. *Manual práctico de certificación energética en edificios*. Prensa Universitaria de Zaragoza, 2008.
- [31] Tozer R. James W.R. Fundamental thermodynamics of ideal absorption cycles. *International Journal of Refrigeration*, 20:120–135, 1997.
- [32] Víctor Soto J.M. Pinazo. *Libro-CD Transmisión de calor*. ISBN 84-9705-456-3, Valencia, 2003.
- [33] J.F. Kreider and A. Rabl. *Heating and cooling of buildings: design for efficiency*. Mc-Graw Hill, New York, 1994.
- [34] B. Wilcox K. Nittler L. Palmiter, P. Niles. *Unconditioned Zone Model*. California Energy Commission (Energy Commission)., 2008.
- [35] Arcadio García Lastra. *DEA: Escenario de la certificación energética española y comprobación de la simulación computacional con el consumo real CONCLUSIONES*. 2009.
- [36] V. Lo Brano A. Arioli M. Cellura, G. Beccali. Single thermal zone balance solved by transfer function method. *Energy and Buildings*, 37:1268 – 1277, February 2005.
- [37] A. Coronas J. C. Bruno M. Puig-Arnavat, J. López-Villada. Analysis and parameter identification for characteristic equations of single- and double-effect absorption chillers by means of multivariable regression. *International Journal of refrigeration*, 22:70–78, 2010.
- [38] IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía) Ministerio de Industria y Comercio. *Procedimiento, Opción Simplificada. Viviendas*. Mayo 2009.
- [39] Stephenson D.G Mitalas, G. P. Cooling load calculations by thermal response factor method. *ASHRAE Trans.*, 74(2) ,1, 1967.
- [40] Stephenson D.G. Mitalas, G. P. Calculation of heat transfer functions for multilayer slabs. In *ASHRAE Annual Meeting, pp 22-25 Washington DC.*, 1971.

- [41] MIYABI. Ces certificación energética simplificada, <http://www.miyabi.es>.
- [42] Bereket Nigusse. *Improvements to the radiant time series method cooling load calculation procedure*. PhD thesis, School of Mechanical and Aerospace Engineering, Oklahoma State University, B.A. 2007.
- [43] U.S. Department of Energy. *EnergyPlus Energy Simulation Software (V-60)*. <http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/>, 2007.
- [44] University of Wisconsin-Madison. *TRNSYS A Transient System Simulation Program*. February 200.
- [45] M. Martin P. Berdahl. Characteristics of infrared sky radiation in the united states. lawrence berkeley laboratory, university of california - berkeley. *Solar Energy*, 33:321–336, 1984.
- [46] F.W.H. Yik P. Underwood. *Modelling Methods for Energy in Buildings*. Blackwell, 2004; ISBN 0-632-05936-2.
- [47] J.M. Pinazo P. Vírveda. Thermal behaviour in multilayer products by response factor. *Journal of food Engineering*, 33:347–358, 1997.
- [48] IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía). *Procedimientos y aspectos de la simulación de instalaciones térmicas en edificios*. Depósito Legal: M-00000-2008 ISBN: 000-00-00000-00-0, 2008.
- [49] José Manuel Pinazo. *Manual de climatización. Tomo II Cargas térmicas*. ISBN 847721-341-0, Valencia 1995.
- [50] CEN prEN 15217. *Energy performance of building, Methods for expressing energy performance and for energy certification of building*.
- [51] Edwin Víctor Lamas Sivila. *DEA: Metodología y validación del método abreviado para la calificación energética CERMA (Calificación energética residencial método abreviado)*. Septiembre 2009.
- [52] Víctor. M. Soto. *Transferencia de calor y masa en absorbedores de tubos horizontales que trabajan con la mezcla LiBr-H₂O*. PhD thesis, Universidad Politécnica de Valencia, 2002.
- [53] Jeffrey D. Spitler. *Load Calculation Applications Manual*. ASHRAE (2008).
- [54] F. Summerer. Evaluation of absorption cycles with respect to cop and economics. *International Journal of Refrigeration*, 19:19–24, 1996.
- [55] J. F. Coronel Toro. *Simulación térmica de entornos arquitectónicos aproximación a los espacios exteriores*. PhD thesis, Universidad de Sevilla, 1998.

- [56] ATECYR(Asociación Técnica Española de Climatización y Refrigeración); <http://www.atecyr.org>; <http://www.five.es> Universidad Politécnica de Valencia, Instituto Valenciano de la Edificación. *CERMA (Certificación Energética Residencial Método Abreviado)*. Abril, 2009.
- [57] Grupo FREDSOL Universidad Politécnica de Valencia. *Vp Clima, Programa de cálculo de cargas térmicas y demanda energética en edificios*. Febrero, 2009 ; <http://www.vpclima.upv.es/>.
- [58] Refrigerating USA, ASHRAE (American Society of Heating and Air-Conditioning Engineers Inc.). *ASHRAE handbook of fundamentals*. 1993.
- [59] Donald Watson. *Energy conservation through building design*. McGraw.Hill, New York, 1979, ISBN-007068460X.