



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Instituto
Ingeniería
Energética



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR INGENIEROS
INDUSTRIALES VALENCIA

TRABAJO FIN DE MÁSTER

TECNOLOGÍA ENERGÉTICA PARA DESARROLLO SOSTENIBLE

“ANÁLISIS Y ESTUDIO DE LA SIMULACIÓN ENERGÉTICA DE EDIFICIOS RESIDENCIALES CON PROGRAMAS RECONOCIDOS”

AUTOR: CARNERO MELERO, PABLO

TUTOR: SOTO FRANCÉS, VÍCTOR MANUEL

COTUTOR: SARABIA ESCRIVÀ, EMILIO JOSÉ

Curso Académico: 2017-18

Fecha: 09/2018

AGRADECIMIENTOS

Agradecer a mis padres, Julia y Adolfo, por su perpetuo apoyo incondicional; por dejarme hacer mi camino con libertad y seguridad. Mis éxitos, son los vuestros.

A Nines y Eduardo, por ayudarme en una etapa clave de mi formación, por acortar la distancia entre Valencia y Madrid con vuestro cariño y hospitalidad.

Al grupo de amigos y compañeros de aventuras que el paso por MUTEDS me permitió encontrar, los Dávilas.

Por último, y no menos importante, al Mele. Habría disfrutado mucho de conversar contigo, ahora que el tiempo me ha hecho más sabio. Sin duda, habrías estado orgulloso de tu nieto, como yo lo estoy de ti.

RESUMEN

El presente Trabajo Fin de Máster versa sobre el análisis y estudio comparativo de la modelización de dos edificios residenciales y el cálculo de sus demandas, llevado a cabo por los programas reconocidos para la certificación energética en España. Dichas herramientas informáticas serán comparadas entre ellas, analizando las causas de las diferencias. Posteriormente, se realizará una contrastación con los resultados arrojados por el modelado del mismo tipo de edificios con el software de referencia EnergyPlus. Finalmente, se procederá a modelar una bomba de calor en cada uno de los programas que lo permitan, discutiendo los resultados obtenidos.

Palabras Clave: Modelización, edificio residencial, demanda, HULC, CERMA, CE3X, CYPETHERM HE PLUS, SG SAVE, EnergyPlus, certificación energética.

RESUM

El present Treball Fi de Màster versa sobre el anàlisi i estudi comparatiu de la modelització de dos edificis residencials i el càlcul de les seues demandes, dut a terme pels programes reconeguts per a la certificació energètica a Espanya. Aquestes ferramentes informàtiques seran comparades entre elles, analitzant les causes de les diferències. Posteriorment, es realitzarà una contrastació amb els resultats obtinguts pel modelat dels mateixos edificis amb el software de referència EnergyPlus. Finalment, es procedirà a modelar una bomba de calor en cada un dels programes que ho permeten, discutint els resultats obtinguts.

Paraules Clau: Modelització, edifici residencial, demanda, HULC, CERMA, CE3X, CYPETHERM HE PLUS, SG SAVE, EnergyPlus, certificació energètica.

ABSTRACT

The present Master's Thesis deals with the analysis and comparative study of the modelling of two residential buildings and the calculation of their demands, carried out by means of the official programs for the energy certification in Spain. Such informatic tools will be compared among them, analyzing the causes of differences. Subsequently, a comparative of the obtained results through the modelling of the same buildings with the reference software EnergyPlus. Finally, the model of a heat pump will be performed in each of the programs which allow it, discussing the obtained results.

Keywords: Modelling, residential building, demand, HULC, CERMA, CE3X, CYPETHERM HE PLUS, SG SAVE, EnergyPlus, energy certification.

ÍNDICE

MEMORIA.....	1
Capítulo 1. Introducción.....	1
1.1. Antecedentes	1
1.2. Objetivo	3
1.3. Justificación	3
1.4. Alcance	3
1.5. Estructura del documento.....	4
Capítulo 2. Edificio de referencia	5
2.1. Introducción a la definición.....	5
2.2. Geometría	6
2.3. Características de definición	7
2.4. Zonificación	8
Capítulo 3. Simulación energética.....	9
3.1. Introducción	9
3.2. Modelo del edificio.....	10
3.3. Modelo de cálculo	12
3.4. Corolario.....	13
Capítulo 4. Programas de simulación.....	14
4.1. Introducción	14
4.2. Consideraciones de Programas Reconocidos.....	14
4.2.1. Solicitaciones exteriores.....	15
4.2.1.1. Exposición.....	15
4.2.1.2. Discusión	16
4.2.2. Solicitaciones Interiores	17
4.2.2.1. Exposición.....	18

Análisis y Estudio de la Simulación Energética de Edificios Residenciales con Programas
Reconocidos

4.2.2.2.	Discusión	18
4.2.3.	Condiciones de contorno en las superficies interiores y exteriores	19
4.2.3.1.	Exposición.....	21
4.2.3.2.	Discusión	21
4.2.4.	Transmisión y radiación en cerramientos opacos y el terreno	23
4.2.4.1.	Exposición.....	23
4.2.4.2.	Discusión	23
4.2.5.	Transmisión y radiación en huecos	24
4.2.5.1.	Exposición.....	24
4.2.5.2.	Discusión	25
4.2.6.	Renovación de aire	26
4.2.6.1.	Exposición.....	27
4.2.6.2.	Discusión	28
4.2.7.	Equipos	29
4.2.7.1.	Exposición.....	30
4.2.7.2.	Discusión	30
4.3.	Programas a analizar	31
4.3.1.	HULC.....	32
4.3.1.1.	Solicitaciones exteriores.....	32
4.3.1.2.	Definición geométrica	33
4.3.1.3.	Solicitaciones Interiores y condiciones operacionales.....	33
4.3.1.4.	Condiciones de contorno en las superficies interiores y exteriores	35
4.3.1.5.	Transmisión y radiación en cerramientos opacos y el terreno	36
4.3.1.6.	Transmisión y radiación en huecos	40
4.3.1.7.	Renovación de aire	41
4.3.1.8.	Equipos	41
4.3.1.9.	Resultados	42
4.3.2.	CE3.....	43
4.3.2.1.	Solicitaciones exteriores.....	43
4.3.2.2.	Definición geométrica	43

Análisis y Estudio de la Simulación Energética de Edificios Residenciales con Programas
Reconocidos

4.3.2.3.	Solicitaciones Interiores	44
4.3.2.4.	Condiciones de contorno en las superficies interiores y exteriores	45
4.3.2.5.	Transmisión y radiación en cerramientos opacos y el terreno	45
4.3.2.6.	Transmisión y radiación en huecos	48
4.3.2.7.	Renovación de aire	49
4.3.2.8.	Equipos	50
4.3.2.9.	Resultados	50
4.3.3.	CE3X.....	51
4.3.3.1.	Solicitaciones exteriores.....	51
4.3.3.2.	Definición geométrica	51
4.3.3.3.	Solicitaciones Interiores	52
4.3.3.4.	Condiciones de contorno en las superficies interiores y exteriores	53
4.3.3.5.	Transmisión y radiación en cerramientos opacos y el terreno	53
4.3.3.6.	Transmisión y radiación en huecos	56
4.3.3.7.	Renovación de aire	56
4.3.3.8.	Equipos	56
4.3.3.9.	Resultados	56
4.3.4.	CERMA.....	58
4.3.4.1.	Solicitaciones exteriores.....	58
4.3.4.2.	Definición geométrica	59
4.3.4.3.	Solicitaciones interiores	59
4.3.4.4.	Condiciones de contorno en las superficies interiores y exteriores	59
4.3.4.5.	Transmisión y radiación en cerramientos opacos y el terreno	61
4.3.4.6.	Transmisión y radiación en huecos	62
4.3.4.7.	Renovación de aire	63
4.3.4.8.	Equipos	63
4.3.4.9.	Resultados	64
4.3.5.	SG-SAVE	66
4.3.5.1.	Solicitaciones exteriores.....	66
4.3.5.2.	Definición geométrica	67
4.3.5.3.	Solicitaciones Interiores	68
4.3.5.4.	Condiciones de contorno en las superficies interiores y exteriores	70

Análisis y Estudio de la Simulación Energética de Edificios Residenciales con Programas
Reconocidos

4.3.5.5.	Transmisión y radiación en cerramientos opacos y el terreno	73
4.3.5.6.	Transmisión y radiación en huecos	74
4.3.5.7.	Renovación de aire	75
4.3.5.8.	Equipos	76
4.3.5.9.	Resultados	76
4.3.6.	CYPETHERM HE Plus	78
4.3.6.1.	Solicitaciones exteriores.....	78
4.3.6.2.	Definición geométrica	79
4.3.6.3.	Solicitaciones Interiores	79
4.3.6.4.	Condiciones de contorno en las superficies interiores y exteriores	81
4.3.6.5.	Transmisión y radiación en cerramientos opacos y el terreno	83
4.3.6.6.	Transmisión y radiación en huecos	85
4.3.6.7.	Renovación de aire	85
4.3.6.8.	Equipos	87
4.3.6.9.	Resultados	87
4.3.7.	Modelo propio.....	89
4.3.7.1.	Solicitaciones exteriores.....	89
4.3.7.2.	Definición geométrica	90
4.3.7.3.	Solicitaciones Interiores	91
4.3.7.4.	Condiciones de contorno en las superficies interiores y exteriores	91
4.3.7.5.	Transmisión y radiación en cerramientos opacos y el terreno	93
4.3.7.6.	Transmisión y radiación en huecos	94
4.3.7.7.	Renovación de aire	94
4.3.7.8.	Equipos	94
4.3.7.9.	Resultados	95
4.3.8.	Comparativa	95
4.3.8.1.	Análisis de condiciones técnicas	95
4.3.8.1.1.	Solicitaciones exteriores.....	96
4.3.8.1.2.	Solicitaciones interiores y condiciones operacionales	96
4.3.8.1.3.	Condiciones de contorno en las superficies interiores y exteriores	97

Análisis y Estudio de la Simulación Energética de Edificios Residenciales con Programas
Reconocidos

4.3.8.1.4.	Transmisión y radiación en cerramientos opacos y el terreno	99
4.3.8.1.5.	Transmisión y radiación en huecos	99
4.3.8.1.6.	Renovación de aire	100
4.3.8.2.	Análisis de resultados.....	101
Capítulo 5.	Aplicación de bomba de calor.....	105
5.1.	Introducción	105
5.2.	HULC.....	105
5.2.1.	Definición	106
5.2.2.	Resultados.....	106
5.3.	CE3.....	107
5.3.1.	Definición	107
5.3.2.	Resultados.....	107
5.4.	CE3X.....	108
5.4.1.	Definición	108
5.4.2.	Resultados.....	108
5.5.	CERMA.....	109
5.5.1.	Definición	109
5.5.2.	Resultados.....	110
5.6.	SG-SAVE.....	111
5.6.1.	Definición	111
5.6.2.	Resultados.....	111
5.7.	CYPETHERM HE PLUS	112
5.7.1.	Definición	112
5.7.2.	Resultados.....	113
5.8.	Comentarios	113
Capítulo 6.	Conclusiones	115
6.1.	Conclusiones.....	115
6.2.	Crítica a EnergyPlus.....	116
6.3.	Desarrollo futuro, DEVS.	117
Capítulo 7.	Bibliografía	119
PLANOS.....		1
ANEXOS		1

Análisis y Estudio de la Simulación Energética de Edificios Residenciales con Programas
Reconocidos

Anexo I. Generación del edificio de referencia.....	1
Introducción	1
Características	2
Anexo II. Ficheros Climáticos.....	13
Introducción	13
Prodecimiento	13
ÍNDICE DE RECURSOS	1
Índice de figuras	1
Índice de tablas	4
Índice de gráficos	12

MEMORIA

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

1.1. ANTECEDENTES

La eficiencia energética en los edificios es un aspecto clave en el desarrollo de un mundo sostenible y, de un tiempo a esta parte, desde diferentes organismos legislativos se ha identificado no únicamente su problemática sino también su posibilidad y necesidad de mejora.

En la Directiva 1989/106/CEE del Consejo de las Comunidades Europeas, relativa a la aproximación de las disposiciones legales, reglamentarias y administrativas de los Estados miembros sobre los productos de construcción, ya se hacía mención del ahorro de energía en la construcción. Concretamente se establecía que *“las obras y sus sistemas de calefacción, refrigeración y ventilación deberán proyectarse y construirse de forma que la cantidad de energía necesaria para su utilización sea moderada, habida cuenta las condiciones climáticas del lugar, y de sus ocupantes”* (CEE, 1989). Esta directiva fue traspuesta por el Real Decreto 1992/1630, posteriormente modificado por el Real Decreto 1995/1328. Sin embargo, no se establecía un procedimiento claro y tangible que pudiese ser exigido a los edificios existentes y por construir.

Con posterioridad, se promulgó la Directiva 1993/76/CEE del Consejo relativa a la limitación de las emisiones de dióxido de carbono mediante la mejora de la eficacia energética (SAVE). Se hacía patente que *“los sectores de la vivienda y terciario absorben cerca del 40% del consumo final de energía en la Comunidad y que se encuentran todavía en expansión, evolución que no hará sino incrementar su consumo de energía y, por consiguiente, sus emisiones de CO₂”*. Además, se sentaban las bases de la certificación energética de los edificios estableciendo que *“una información objetiva sobre las características energéticas de los edificios, la certificación energética, favorece a una mayor transparencia del mercado inmobiliario y fomentará las inversiones en ahorro de energía”*. Se expone, en el artículo 1 de la mencionada directiva, *“el establecimiento y la aplicación de programas en los siguientes ámbitos: -la certificación energética de los edificios [...]”*. Concretando en el artículo 2 que *“la certificación energética de los edificios, que consiste en la descripción de sus características energéticas, deberá aportar información a los interesados en utilizar un edificio, sobre la eficacia energética del mismo”* (Parlamento Europeo, 1993). Estos documentos normativos comenzaban a establecer la necesidad de información sobre el comportamiento energético de los edificios, no obstante, seguía siendo vaga la descripción de los protocolos de caracterización.

La siguiente porción normativa al respecto fue la Directiva 2002/91/CE del Parlamento Europeo y del Consejo relativa a la eficiencia energética de los edificios. En ella se establecía que *“el certificado debe describir la situación real de la eficiencia energética del edificio [...]”* (Parlamento Europeo & Consejo de la Unión Europea, 2003). Esta directiva europea fue traspuesta en el, ya derogado, Real Decreto 2007/47 donde se aprobaba el Procedimiento básico para la certificación de eficiencia energética de edificios de nueva construcción. Este documento

legislativo establecía *“las especificaciones técnicas de la metodología de cálculo de la calificación de eficiencia energética, donde se particularizan las características y alcance de los métodos informáticos que podrán utilizarse para el cálculo de las calificaciones de eficiencia energética, y que se hacen necesarios en la mayoría de los casos para llevar a cabo los complejos cálculos con fiabilidad suficiente”*. La metodología a emplear, tal y como se especifica en el Anexo I de dicho documento, *“se basa en el sistema denominado ‘auto-referente’, mediante el cual el edificio a certificar se compara con otro denominado de referencia que cumple determinadas condiciones normativas y se evalúa si alcanza la misma o superior eficiencia energética”*. Esta norma, además, creaba los *“documentos reconocidos para la certificación de eficiencia energética”* en su artículo tercero. Uno de los documentos reconocidos de mayor importancia y trascendencia nacional a la hora de la evaluación de la eficiencia energética de los edificios es el CALENER¹, *“el programa informático de Referencia”*. Sin embargo, se abre la puerta a *“un programa informático Alternativo, que cumpla con las especificaciones técnicas de la metodología de cálculo [...]”*. El Real Decreto 2007/47, además, establecía, entre otros particulares, que la eficiencia energética de un edificio debía contener *“la descripción de las características energéticas del edificio, envolvente térmica, instalaciones, condiciones normales de funcionamiento y ocupación y demás datos utilizados para obtener la calificación de eficiencia energética del edificio”* (Ministerio de la Presidencia, 2007).

Con posterioridad, la Directiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo y del Consejo relativa a la eficiencia energética de los edificios añadió algunos matices y consideraciones a cerca de la metodología de cálculo de la eficiencia energética de los edificios. Se expone que *“la metodología de cálculo de la eficiencia energética [de los edificios] debe basarse no solo en las temporadas en que es necesario el uso de calefacción, sino que debe cubrir los resultados de eficiencia de un edificio a lo largo de un año”* (Comisión Europea, 2010). De algún modo, se permite vislumbrar la necesidad de un **análisis dinámico** que contemple el comportamiento energético de los edificios y sus sistemas en los diferentes modos de funcionamiento y en un período prolongado de tiempo. Estos elementos, así como la ampliación de las necesidades de certificación energética a edificios existentes, se traspusieron en el Real Decreto 2013/235. Este carácter dinámico en el cálculo de la eficiencia energética, irremediamente liga la calificación energética a la simulación energética. Entendiéndose esta última como un proceso que *“consiste en estimar con cierta frecuencia temporal -normalmente cada hora- la potencia para proporcionar ciertos servicios”* (IDAE, 2008).

De un modo transversal, la legislación española desarrolló su normativa en cuanto a eficiencia energética en edificios mediante el Real Decreto 2006/314 y, posteriormente, mediante la Orden FOM/20013/1635 aprobando el Documento Básico de Ahorro de Energía (en adelante, DB-HE) del Código Técnico de la Edificación (en adelante, CTE). Finalmente, el Real Decreto 2013/238 estableció el Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios (en adelante, RITE) como la normativa a seguir para los sistemas de climatización y producción de ACS en los edificios.

Habida cuenta de estos antecedentes, se tiene una situación en la que las exigencias normativas, apoyadas en compromisos medioambientales, hacen necesaria la existencia de un modo que

¹ CALENER proviene de **Calificación Energética**

permita la caracterización del comportamiento energético, dinámico y extendido en el tiempo, de los edificios y sus sistemas.

1.2. OBJETIVO

El objetivo de este trabajo es llevar a cabo una tarea de análisis exhaustivo y comparativo entre las diferentes opciones de certificación energética reconocidas por la normativa; analizando posibles diferencias en la definición y caracterización de la demanda energética en dos edificios residenciales. Posteriormente, se generará un modelo original de los mismos mediante el programa informático EnergyPlus, que entrará también en la comparativa por ser considerado un programa de simulación de garantías por la comunidad científica. El último paso en el trabajo es aplicar un sistema con bomba de calor a los anteriores programas para poder observar el modelado que cada uno hace, no sólo de la demanda energética, sino en el dimensionado y gestión de equipos concretos de climatización.

La intención de este estudio es evidenciar los puntos débiles que puedan existir, con el fin de promover el uso de las herramientas más fiables al alcance de los profesionales técnicos para facilitar un proyectado, construcción y operación de los edificios y sus sistemas de un modo sostenible, con mayor transparencia desde el punto de vista energético.

1.3. JUSTIFICACIÓN

Los recientes desarrollos de herramientas dinámicas de simulación energética posibilitan unos niveles de definición del comportamiento energético muy superiores a los que se consiguen con algunos de los programas informáticos reconocidos para la certificación energética de los edificios. De hecho, la normativa así lo contempla cuando se establece que *“considerando las limitaciones derivadas de la existencia de componentes, estrategias, equipos y/o sistemas que no puedan [ser] contemplados en estos procedimientos se habilita este mecanismo con el objetivo de evitar que los procedimientos de certificación energética de edificios se conviertan en barreras a la eficiencia energética”* (General de Planificación Energética Seguimiento, 2015).

La no utilización de las herramientas más potentes, y de libre uso, de simulación energética al alcance de la sociedad puede causar, no únicamente un retraso tecnológico y de desarrollo, sino también puede arrojar resultados ficticios o alejados de la realidad en cuanto al comportamiento energético de los edificios. Este fallo a la hora de caracterizar un comportamiento real tiene un impacto en la sociedad a nivel global. Afecta desde el usuario del inmueble en cuestión a la hora de afrontar la compra de un determinado sistema de climatización o ACS y el pago de las facturas energéticas; hasta la ciudadanía en su conjunto que debe hacer frente a las consecuencias medioambientales y sancionadoras de no cumplir con un desarrollo sostenible.

1.4. ALCANCE

El trabajo que se expone en este documento tiene un **alcance constructivo**, en su desarrollo concreto, a la tipología de edificios de vivienda. Concretamente se va a analizar dos tipos de edificios, una vivienda adosada y una vivienda en un bloque, por considerarse las dos construcciones más representativas del parque inmobiliario residencial español. Son dos de las

tipologías de viviendas que el Ministerio de Energía, Turismo y Agenda Digital y el Ministerio de Fomento pone a disposición para realizar los test de validación y calibración de demanda para los programas alternativos al de referencia (Ministerio de Energía Turismo y Agenda Digital, n.d.-a).

El **alcance operacional** será el circunscrito al cálculo de la eficiencia energética de un edificio, la cual se determina *“calculando o midiendo el consumo de energía necesaria para satisfacer anualmente la demanda energética del edificio en unas condiciones normales de funcionamiento y ocupación”* (Ministerio de Industria Energía y Turismo, 2015a). Se considera tanto la caracterización de la demanda energética, como el dimensionado y gestión de un equipo de bomba de calor aire-aire típico con conductos.

Por último, pese a la continua referencia a la legislación en materia de certificación energética, dado que hay parámetros de contorno que condicionan la simulación, *“éstas son fijadas por la administración en la mayor parte de los casos: usos de los ocupantes, temperaturas de consigna, ventilación nocturna, etc.”* (IDAE, 2008). Este documento pretende tener un alcance que trascienda las limitaciones normativas. Esto es porque, en algunas ocasiones, la legislación tiende a ser demasiado simplificada, dando lugar a definiciones poco verosímiles. Además, como este trabajo es una labor de análisis que no pretende sentar las bases de un nuevo procedimiento de certificación energética, no se encuentra condicionado por la operatividad de los procedimientos de cálculo y puede ir un paso más buscando conseguir una definición lo más cercana a la realidad posible.

1.5. ESTRUCTURA DEL DOCUMENTO

Tras este primer capítulo introductorio, comienza el trabajo propiamente dicho. En las páginas siguientes se va a abordar la definición de las condiciones del edificio objeto de la comparación entre diferentes programas de simulación y/o certificación. A continuación, se entrará en los particulares que afectan a las simulaciones energéticas en términos generales y, en el capítulo siguiente, en los particulares de cada programa. Se procederá a una discusión de los resultados obtenidos y se realizará una simulación con un modelo propio en EnergyPlus, entendido este como un programa de referencia que arroja los valores más cercanos a la realidad. Sucesivamente, se modelará un equipo de conductos mediante bomba de calor aire-aire para el edificio de vivienda unifamiliar, analizando también las posibles diferencias existentes entre los programas que lo permitan. Finalmente, se expondrán las conclusiones del trabajo, las posibles deficiencias en el funcionamiento del propio EnergyPlus y se mencionará el desarrollo futuro que se prevé tenga lugar en el campo de la simulación energética de edificios.

CAPÍTULO 2. EDIFICIO DE REFERENCIA

2.1. INTRODUCCIÓN A LA DEFINICIÓN

La certificación energética en España diferencia entre dos clases de edificios, las viviendas de uso residencial privado y los edificios terciarios. Para las viviendas, la caracterización de la calificación energética se hace mediante una comparación con unos límites de demanda en función de ratios superficiales y valores fijos según la zona climática. Estos ratios y valores límite se encuentran en el apartado 2.2.1.1.1 *Edificios de uso residencial privado* de la DB-HE 1, (Ministerio de Fomento, 2017). Los cálculos se realizan con unas características operacionales y de uso fijas; manteniendo las construcciones reales, dado que se entiende que las viviendas se gestionan de un modo muy similar entre ellas. Sin embargo, los edificios terciarios son susceptibles de tener mayor variabilidad en cuanto a sus condiciones de uso, construcciones y servicios ofrecidos; un hospital es un edificio terciario, de igual modo que lo es un grupo de oficinas o un hotel. Este hecho hace necesaria la definición de un edificio de referencia, con características constructivas y consignas temporales fijadas, para poder llevar a cabo una comparación en condiciones.

El Real Decreto 2007/47 establece en su Anexo I las *Especificaciones técnicas de la metodología de cálculo de la calificación de eficiencia energética*. Se define el edificio de referencia como aquel que cumple tiene *“la misma forma y tamaño, la misma zonificación interior y el mismo uso de cada zona y los mismos obstáculos remotos del edificio a certificar”* (Ministerio de la Presidencia, 2007).

El objetivo de este trabajo no es realizar una certificación en sí misma de un edificio concreto, sino comparar el nivel de detalle en la definición de un edificio residencial cualquiera. Se va a trabajar sobre dos edificios concretos, los cuales se mostrarán en el apartado siguiente, denominado *Geometría*. Además, dado que las condiciones constructivas y de uso podrían ser cualquiera para definir los edificios a comparar, se ha optado por utilizar las condiciones de referencia establecidas por la normativa.

El edificio de referencia, además de las correspondencias de forma y uso con los edificios concretos, debe tener *“unas calidades constructivas de los componentes de fachada, suelo y cubierta, por un lado, y unos elementos de sombra, por otro, que garanticen el cumplimiento de los requisitos mínimos de eficiencia energética que figuran en la opción simplificada de la sección HE 1-Limitación de la demanda energética- del documento básico de ahorro de energía del Código Técnico de la Edificación”* (Ministerio de la Presidencia, 2007). Para no considerar unas composiciones de cerramientos y de puentes térmicos arbitrarias, se ha optado por utilizar las de referencia para la zona climática D3.

En lo relativo a la contribución a la eficiencia energética de los sistemas existentes en el edificio de referencia se establece que este debe tener *“el mismo nivel de iluminación que el edificio a certificar y un sistema de iluminación que cumpla con los requisitos mínimos de eficiencia energética que figuran en la sección HE 3-Eficiencia energética de las instalaciones de iluminación- del documento básico de ahorro de energía del Código Técnico de la Edificación. Las instalaciones térmicas de referencia en función del uso y del servicio del edificio cumplirán los requisitos mínimos de eficiencia energética que figuran en la sección HE 2-Rendimiento de las instalaciones térmicas, desarrollados en el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE)- y en la sección HE 4-Contribución solar mínima de agua caliente sanitaria- del documento de ahorro de energía del Código Técnico de la Edificación. En los casos en que así lo exija el documento básico de ahorro de energía del Código Técnico de la Edificación, una contribución solar fotovoltaica mínima de energía eléctrica, según la sección HE-5”* (Ministerio de la Presidencia, 2007).

Para el cálculo de eficiencia energética se tiene que habrá que considerar *“unas condiciones normales de funcionamiento y ocupación del edificio, que estarán recogidas en un documento reconocido”* (Ministerio de la Presidencia, 2007).

2.2. GEOMETRÍA

El Ministerio de Energía, Turismo y Agenda Digital, a través de la Secretaría de Estado de Energía, pone a disposición del público el *“Archivo de edificios de la Agencia Internacional de la Energía para los test de validación necesarios para el motor de cálculo y de la fidelidad de las condiciones estándar de programas alternativos a los de referencia”* (Ministerio de Energía Turismo y Agenda Digital, n.d.-a). Para la realización de este trabajo se ha optado por elegir un ejemplo de las dos tipologías de edificio residenciales del archivo anterior, una vivienda unifamiliar y una vivienda en bloque.

Los edificios concretos son los denominados como *Edificio 2*, para la vivienda unifamiliar de dos plantas, y el *Edificio 4*, para la vivienda en bloque de cinco plantas. Estos edificios se identifican como *CAL_UNI_002* y *CAL_MUL_001*, respectivamente en la documentación de referencia (IDAE, 2009a). Los planos de estos edificios se encuentran en el apartado de *Planos* y son autoría de la Agencia Internacional de la Energía, (Ministerio de Energía Turismo y Agenda Digital, n.d.-a). Únicamente se reproducen con el objetivo de facilitar al lector la comprensión del presente trabajo.

A continuación, se muestra el aspecto tridimensional de los edificios considerados. Ambas construcciones se asumen de 2,7 m de altura, tal y como se establece en la documentación de referencia asociada.

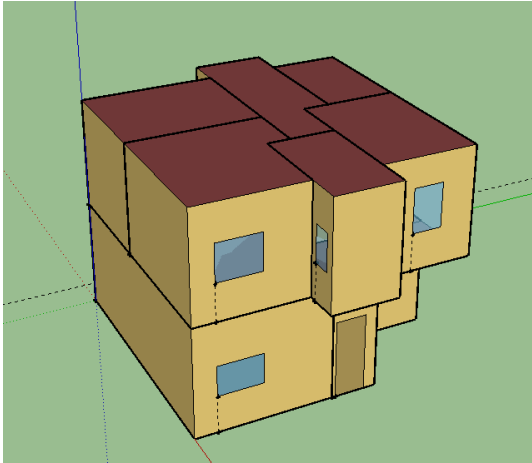


Figura 1. Edificio 2, vivienda unifamiliar. Sketch-Up.

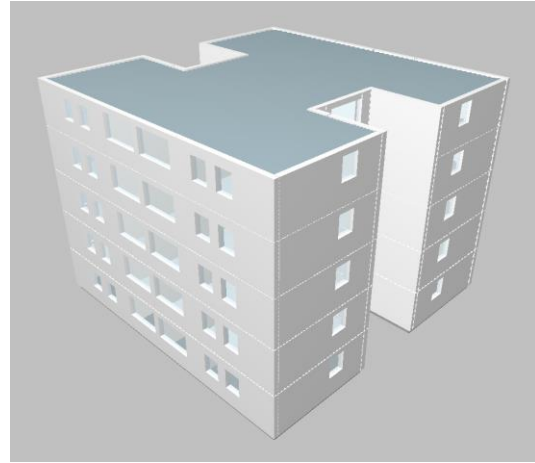


Figura 2. Edificio 4, viviendas en bloque. IFC Builder.

2.3. CARACTERÍSTICAS DE DEFINICIÓN

Como se ha mencionado anteriormente, se eligen unas condiciones constructivas concretas en cuanto a composición de los cerramientos, valores de transmitancia y factor solar de los huecos, puentes térmicos y permeabilidades de la envolvente. Para estos parámetros de definición de la construcción del edificio se ha optado por las condiciones que tendría el edificio de referencia normativo para la zona climática D3. También se fijan las condiciones operacionales y de uso de los edificios, eligiendo las del edificio de referencia que define la legislación. Los valores concretos se pueden consultar con detalle en el *Anexo I. Generación del edificio de referencia.*

Lo que se pretende fijando estas características es evaluar el trabajo que hacen los diferentes programas en la definición de unas mismas condiciones y la posterior simulación. Para no elegir una composición arbitraria cualquiera, se ha optado por aceptar los parámetros definitorios de la documentación reconocida española en materia de certificación energética. Es importante destacar que la construcción del edificio de referencia para los dos tipos de edificios residenciales considerados se hace de modo manual, dado que la legislación no obliga a la generación de este para el uso residencial, no así para el terciario, y los programas, por regla general, no lo hacen automáticamente.

2.4. ZONIFICACIÓN

A continuación, se expone la correspondencia de cada uno de los espacios de los edificios considerados con zonas típicas de las viviendas:

- Edificio 2; 2,7m de altura.

Nomenclatura en los planos	Nomenclatura del espacio típico	Superficie (m ²)
P0_E1	Salón-Comedor	25.16
P0_E2	Vestíbulo	5.43
P0_E3	Aseo	6.45
P0_E4	Cocina	10.82
P1_E1	Habitación Individual	11.36
P1_E2	Habitación Doble	12.42
P1_E3	Baño	5.81
P1_E4	Sala	9.63
P1_E5	Habitación Individual	9.83
P1_E6	Baño	5.87
Total vivienda		102.78

Tabla 1. Desglose superficial del Edificio 2.

- Edificio 4; 2,7m de altura.

Nomenclatura en los planos	Nomenclatura del espacio típico	Superficie (m ²)
Pi_E0	Rellano	26,88
Pi_NE_E1	Vestíbulo	4
Pi_NE_E2	Habitación Individual	10,73
Pi_NE_E3	Baño	3,42
Pi_NE_E4	Habitación Doble	17,05
Pi_NE_E5	Salón-Comedor-Cocina	27,86
Total vivienda		63,06

Tabla 2. Desglose superficial del Edificio 4.

CAPÍTULO 3. SIMULACIÓN ENERGÉTICA

3.1. INTRODUCCIÓN

Una vez se tiene las características constructivas, de funcionamiento y uso del edificio, se está en condición de abordar el cálculo de la demanda energética y, con la definición de sistemas, el consumo de energía final asociado. Para ello, conviene hacer hincapié, una vez más, en el carácter dinámico del análisis. *“Los procedimientos deben tener en cuenta, de forma detallada o simplificada, la evolución hora a hora de los procesos térmicos, el comportamiento de las instalaciones así como las aportaciones de energía procedente de fuentes renovables”* según se establece en documentos oficiales (Ministerio de Industria Energía y Turismo, 2015b). Este dinamismo tiene especial importancia cuando se evalúan las características térmicas reales del edificio, como son la inercia térmica, los puentes térmicos, las infiltraciones o el funcionamiento a carga parcial de las instalaciones.

Por lo tanto, queda patente que, para la cuantificación de la eficiencia energética necesaria para llevar a cabo una certificación energética real, *“no es posible el uso de procedimientos estacionarios para establecer con rigor la demanda energética del edificio”*. Además, la demanda energética propia del edificio es satisfecha por un equipo o sistema concreto y estos *“varían sus prestaciones [...] con las condiciones ambientales y con la proporción de carga que compensan [...], por lo tanto, igualmente un procedimiento estacionario (en base a rendimientos estacionales) sólo produce una aproximación al valor de consumo real”* (IDAE, 2008).

Conviene remarcar la ardua tarea que supone llevar a cabo una representación ajustada de la realidad energética de un edificio. Existen diferentes modos de transmisión de calor, variabilidad en las solicitudes interiores y exteriores, transferencia de materia, múltiples reflexiones de la radiación solar, inercias de los muros y mobiliario interior, etc. Se muestra a continuación un esquema extraído de la norma EN 15265:2007 que ilustra los diferentes flujos de energía que acontecen en un edificio, (AENOR, 2010).

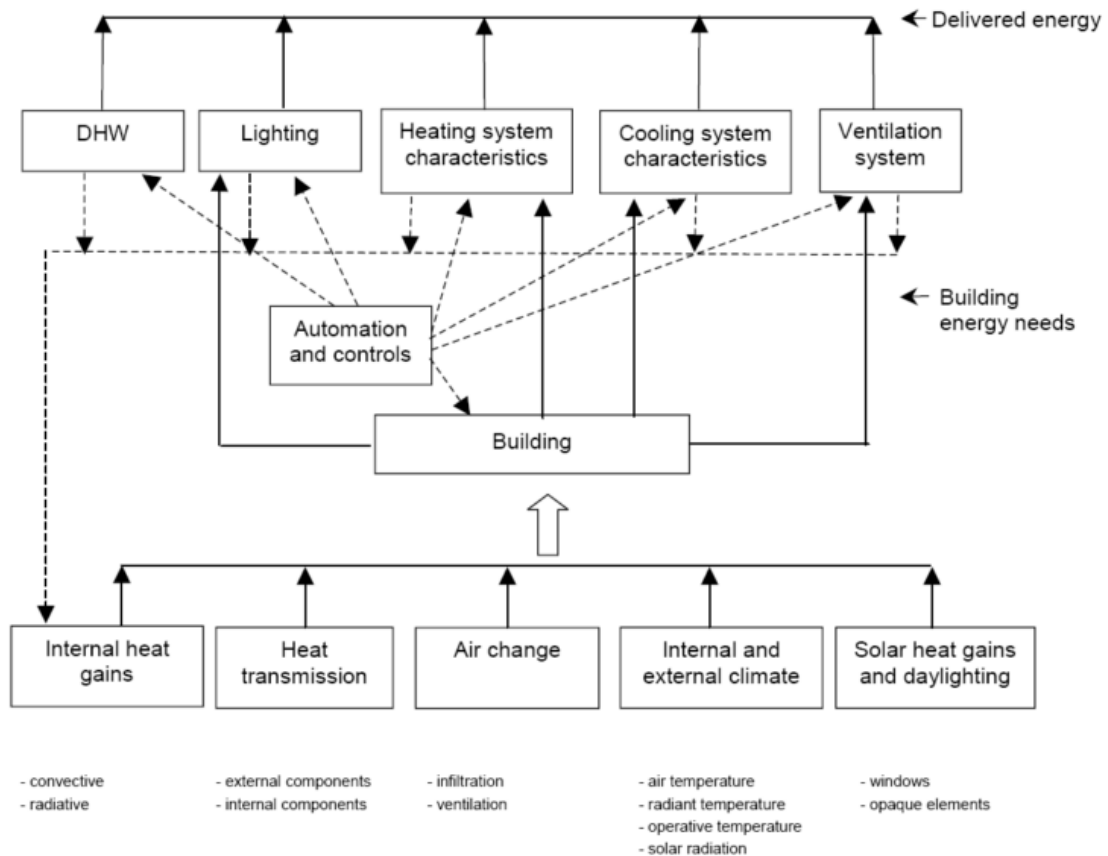


Figura 3. Flujos de energía en un edificio.

La discusión sobre las posibilidades en cuanto a procedimientos concretos de simulación y certificación energética se abordará en los capítulos venideros. Sin embargo, todas y cada una de ellas tienen en común la utilización de un modelo de una determinada realidad; en este caso, un edificio. Partiendo de dicho modelo, se realiza una serie de cálculos para “estimar las aportaciones de energía y masa (humedad) a un cierto volumen [...] con el objetivo de mantener unas condiciones de confort preestablecidas en él” (IDAE, 2008).

3.2. MODELO DEL EDIFICIO

El primer paso a la hora de realizar una simulación es realizar una traducción del edificio a simular a un formato que pueda ser tratable por el programa de simulación escogido. Este proceso finaliza con la realización de un modelo de definición, denominado “modelo-D” en algunas literaturas.

Un edificio, desde el punto de vista geométrico, no es más que un conjunto de relaciones de líneas, superficies y volúmenes. Es importante destacar que un mismo edificio necesita diferentes niveles de modelado, dependiendo de la información que se pretenda extraer del mismo. Para un interiorista, por ejemplo, es importante tener contemplado el detalle del acabado superficial interior de los cerramientos. Para un ingeniero que pretenda acometer la simulación térmica, no es necesario alcanzar tanto nivel de detalle formal; aunque necesitará más definición en otros aspectos, como la composición concreta de los muros, por ejemplo.

Hay diferentes opciones para modelar una realidad geométrica tan compleja como es, por ejemplo, un muro multicapa. En función de el modelado llevado a cabo, el proceso de cálculo y simulación posterior se verá condicionado. Del mismo modo, con las zonas térmicas o los volúmenes de aire a climatizar, es posible discretizar para cada fracción del edificio o se puede asumir que toda la vivienda es un único volumen de aire.

Por ejemplo, el software DOE2², en el que se basa el programa de certificación de referencia español, la Herramienta Unificada LIDER-CALENER (en adelante, HULC), a la hora de modelar las distintas zonas térmicas, asigna el cerramiento común a únicamente uno de los espacios. En este tipo de modelado, la superficie frontera entre ambos volúmenes es una representación sin espesor del muro multicapa real. Al estar representando el muro multicapa, el cual es en realidad un volumen, mediante una única superficie, esta debe pertenecer a un espacio volumétrico. Este hecho causa que haya volúmenes completos asociados a un espacio y volúmenes incompletos asociados a los espacios adyacentes, perdiendo detalle de la geometría real y, por lo tanto, del volumen.

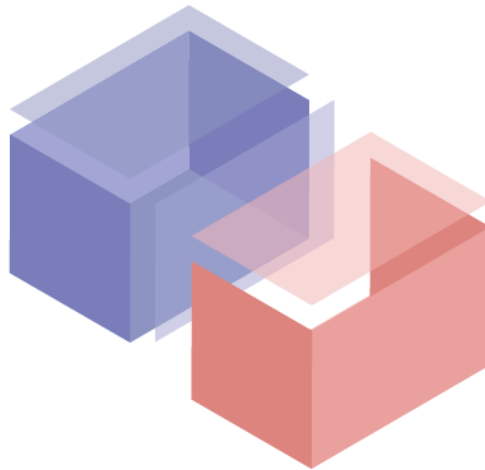


Figura 4. Definición volumétrica asociada a DOE2. Elaboración propia.

Otra posibilidad a la hora de la definición geométrica sería mediante un modelo volumétrico completo, como es el caso de EnergyPlus. Un espacio está definido mediante un volumen asociado a la cantidad de aire que alberga, a continuación, existen diferentes volúmenes que representan los cerramientos que confinan dicho volumen. Esos cerramientos, cuando son comunes a dos zonas térmicas, tienen cada una de las caras exteriores pertenecientes a uno de los volúmenes.

² DOE2 proviene de **D**eartment **O**f Energy

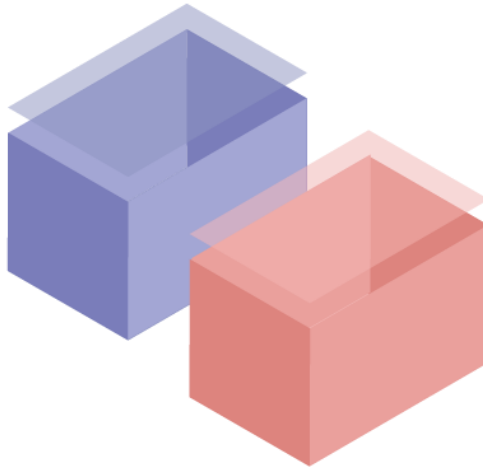


Figura 5. Definición volumétrica asociada a DOE2. Elaboración propia.

Cabría la posibilidad, además, de definir geoméricamente el edificio sin definir diferentes volúmenes de un modo explícito. Este es el caso de programas como CERMA, que utiliza un modelo geométrico denominado como “*proyectado*”, por algunas literaturas. A la hora de la definición de los muros exteriores, por ejemplo, en esta herramienta basta con definir la composición de los cerramientos, su superficie y si existe la posibilidad o no de ser sombreados de la radiación solar mediante la selección de la orientación del cerramiento. No se entra a debatir tampoco si las caras interiores de las particiones interiores pertenecen a uno u otro espacio porque se define el edificio como una única zona térmica.

Es evidente que cada vez que se hace un modelo de la realidad se está limitando el nivel de detalle en la descripción de esta, irremediabilmente condicionando la realización de modelos posteriores asociados.

3.3. MODELO DE CÁLCULO

El segundo paso lógico en el proceso de simulación energética consiste en la realización de un modelo que, partiendo de información proporcionada por la representación geométrica anterior, permita realizar una serie de cálculos representantes de la realidad física que afecta al edificio. En este paso también existen infinidad de alternativas en cuanto a procedimientos y en cuanto a qué cantidad de información a utilizar. Una clasificación muy básica para los modelos de cálculo es si se trata de modelos dinámicos o estáticos en cuanto a la energética de los edificios. Entre estos métodos se puede considerar el método de los grados-día o el binario, ambos estacionarios; o el método del balance de energía o el de series temporales radiantes, los cuales sí contemplan la dinámica existente.

Al igual que sucedía con el llamado modelo-D, a la hora de llevar a cabo los cálculos, la mera forma de abordar el problema puede estar condicionando la solución obtenida. Es posible considerar el intercambio radiante, con dependencia física de la cuarta potencia de las temperaturas superficiales involucradas y en función de la longitud de onda. Otra opción es considerarla conjuntamente con la convección al aire, haciendo uso de un parámetro lineal función de la diferencia de temperaturas. Los coeficientes de convección pueden calcularse teniendo en cuenta las velocidades del viento en distintos instantes y la diferencia de

temperaturas entre el aire y la superficie, o pueden dejarse fijados en parámetros constantes, dando lugar a modelos de la realidad distintos, con sus ventajas y limitaciones. Por otro lado, considerar la conducción en el interior de un muro multicapa como unidimensional produce un modelo distinto a que si se realiza un mallado detallado del cerramiento y se considera la conducción multidimensional.

Hay programas, como HULC, CE3 o CERMA, que, a la hora de realizar un análisis de la física que acontece dentro de los volúmenes de control definidos, consideran tanto la acumulación de energía como los intercambios de calor a través de los cerramientos. Sin embargo, EnergyPlus, considera también los intercambios de masa de agua que puedan tener lugar en las fronteras de dicho volumen de control. Añadir la consideración de la transferencia de masa a la transferencia de energía, consigue un modelo más preciso.

Además, la realidad física contemplada en cada uno de los modelos puede ser resuelta mediante el uso de unas u otras herramientas matemáticas. La resolución de la conducción de calor unidimensional, mostrada a continuación, puede ser abordada desde el punto de vista de la Transformada de Laplace, mediante el uso de un método de diferencias finitas o haciendo uso de otros métodos como las funciones de transferencia.

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial t}$$

La evolución de la temperatura entre los diferentes instantes de cálculo, una hora por defecto, del modelo energético, puede ser considerada como lineal, como hace EnergyPlus, o puede proponerse una evolución parabólica o incluso polinómica de mayor orden (Pinazo Ojer, Soto Frances, Sarabia Escriva, & Soto Frances, 2015). La mayoría de los programas establecen un paso de cálculo de 1 hora e imponen una evolución lineal a la temperatura entre los pasos de tiempo de la simulación energética. Sin embargo, como se expone en documentación de referencia, *“la demanda de cada una de las contribuciones es muy variable con el tiempo, y depende de las condiciones ambientales, o zona climática, del tipo de edificio y sus características térmicas, y del uso y control que se establezca”* (IDAE, 2008). De hecho, el paso de tiempo de *“60 minutos se considera paso de tiempo ‘largo’ que debe ser utilizado únicamente en raras ocasiones cuando no hay sistema de HVAC, cuando la precisión no es una preocupación, y pasos de tiempo cortos son críticos. Esos pasos de tiempo largos no se recomiendan porque los resultados de simulación son más precisos para tiempos más cortos, del orden de 10 minutos o menos”* (EnergyPlus, 2015). Algunas fuentes, indican, que el paso de tiempo de una hora podría ser adecuado si se cambiara la evolución de la temperatura entre instantes de cálculo de lineal a parabólica (Pinazo Ojer et al., 2015).

Evidentemente, si el modelo-D anterior no contiene la información necesaria para llevar a cabo ciertos cálculos, tendrán que omitirse o estimarse; este es, comúnmente, el caso de los puentes térmicos.

3.4. COROLARIO

Las diferentes posibilidades en los modelados utilizados por los diversos programas de simulación energética dan lugar a unos resultados, irremediamente, distintos pese a partir de la misma realidad física, el edificio.

CAPÍTULO 4. PROGRAMAS DE SIMULACIÓN

4.1. INTRODUCCIÓN

Del capítulo anterior, se sigue que los diversos métodos a la hora de realizar los distintos modelos energéticos necesarios para llevar a cabo una simulación energética, dan lugar a diferencias en los programas informáticos. Es este capítulo se va a hacer un desglose de las características específicas de cada uno de los programas reconocidos por el Ministerio de Energía, Turismo y Agenda Digital y un modelo propio en EnergyPlus, se mostrará y discutirá los resultados que arrojan a la hora de simular la demanda energética de los edificios seleccionados.

4.2. CONSIDERACIONES DE PROGRAMAS RECONOCIDOS

Los programas reconocidos tienen una serie de hipótesis comunes en el modelado, estableciendo en ocasiones un nivel mínimo de modelización y/o valores por defecto, estas quedan recogidas con detalle en el capítulo 4 del documento normativo asociado (IDAE, 2009b).

Siguiendo la discusión que se inició en *el Capítulo 3. Simulación energética*, hay ciertos parámetros que se modelan de un modo u otro y algunos que directamente se fijan por defecto. Se busca, en todo momento, una solución de compromiso entre la manejabilidad del usuario y la calidad de los resultados obtenidos.

En el documento maestro sobre las condiciones técnicas de los procedimientos reconocidos, se establecen tres tipos de valores a considerar por los programas de cálculo. Se muestran a continuación, (Ministerio de Industria Energía y Turismo, 2015b).

- *“Tipo 1.- Valores obligatorios, definidos reglamentariamente, o en otros documentos emitidos por el Ministerio de Fomento o Ministerio de Industria, Energía y Turismo, que deben adoptarse sin modificación.*
- *Tipo 2.- Valores ligados al procedimiento de cálculo que pueden ser modificados por otros obtenidos por procedimientos o fuentes de validez contrastada y con justificación específica, cuando estos resulten más coherentes con el procedimiento de cálculo utilizado.*
- *Tipo 3.- Valores relacionados con el proyecto o las soluciones del edificio existente, de los que se toman sus valores. En algunos casos, se aportan valores por defecto que se podrían adoptar en ausencia de datos específicos más ajustados a las condiciones del edificio.”*

A continuación, se muestra qué valores deberían ser comunes a los programas de cálculo, por tratarse de aquellos catalogados como tipo 1, según el documento maestro citado, y cuáles no los son.

Es importante destacar que aquellos valores de tipo 2 y 3 llevan asociado un “*nivel mínimo de modelización*” como se menciona en el principio de este subapartado, no dejando total libertad a los programas de simulación y/o certificación alternativos. Sin embargo, como se podrá confirmar tras la evaluación de los siguientes subapartados, la mayoría de los valores no son de tipo 1, generando irremediamente diferencias entre las diferentes herramientas de cálculo.

Para cada parámetro, se expondrá qué tipo de dato tiene asociado y se llevará a cabo una discusión sobre su idoneidad o no.

4.2.1. SOLICITACIONES EXTERIORES

La legislación expone la siguiente tabla sobre las condiciones técnicas que los programas de calificación energética deben contemplar en lo referente a las solicitudes exteriores.

Solicitaciones exteriores				
Descripción	Tipo	Datos	Valor	Observaciones
Caracterización climática	1	Zona climática	Zona climática según Apéndice B de la sección HE1 del DB-HE	-
Datos climáticos normativos	1	Temperatura seca, humedad relativa, irradiancia solar sobre plano horizontal	Fichero climático. Disponible en documento descriptivo climas de referencia. Septiembre 2013. MFOM-DGAVS.	Los datos de radiación incluidos en los ficheros climáticos son coherentes con la latitud definida en ellos
Otros datos climáticos	2	Temperatura efectiva del cielo, irradiancia solar directa, irradiancia solar difusa, humedad específica, azimut solar, cénit solar	Ídem	

Tabla 3. Condiciones técnicas relativas a las Solicitaciones Exteriores. (Ministerio de Industria Energía y Turismo, 2015b)

4.2.1.1. EXPOSICIÓN

Se establece que la **caracterización climática** de los emplazamientos de los edificios debe ser en función de la zona climática, la cual definirá inequívocamente un fichero climático único para dicha localización geográfica. Estos se incluyen en el Apéndice B del DB-HE 1 y en los ficheros climáticos oficiales que pone a disposición de los usuarios el Ministerio de Energía, Turismo y Agenda Digital a través de la Secretaría de Estado de Energía (Ministerio de Energía Turismo y Agenda Digital, n.d.-b).

Los ficheros climáticos normativos tienen una serie de **datos climáticos normativos** y **otros datos climáticos no normativos**.

Se tiene que la “*zona climática, la temperatura seca, humedad relativa e irradiancia solar sobre plano horizontal*” son de tipo obligatorio y considerados parámetros normativos (Dirección General de Arquitectura Vivienda y Suelo, 2017). Por lo tanto, el órgano gubernamental asociado los define y deberían ser idénticos para todos los programas de calificación energética.

Otros datos climáticos, como la “*temperatura efectiva del cielo, la irradiancia solar directa y difusa, la humedad específica, el azimut y el cénit solar*”, al ser datos de tipo 2 y considerados no normativos, pueden ser modificados dependiendo del procedimiento de cálculo escogido. El Ministerio de Fomento establece que estos parámetros “*pueden, en función del nivel de*

modelización requerido y las necesidades del procedimiento de cálculo, bien tomarse de entre los datos aportados en el archivo .MET, o bien obtenerse a partir de correlaciones de validez contrastada” (Dirección General de Arquitectura Vivienda y Suelo, 2017). En el Apéndice A del citado documento anterior se encuentran correlaciones para obtener la temperatura de rocío, la temperatura efectiva del cielo y la humedad específica.

4.2.1.2. DISCUSIÓN

Aquellos parámetros principales que caracterizan las condiciones ambientales exteriores, en función de la zona climática, los **datos climáticos determinantes**, tendría sentido que fuesen fijados por la documentación de referencia. Esto debe ser así porque si no, dependiendo del fichero caracterizador de la zona climática utilizado se podría tener resultados diferentes, cuando el edificio constructiva y operacionalmente fuera el mismo. Este punto podría constituir una fuente de fraudes intencionados. Desde el punto de vista de quien suscribe el trabajo, tanto la temperatura efectiva del cielo, la irradiancia solar directa y difusa, la humedad específica, el azimut y cénit solar deberían ser de tipo 1, y no de tipo 2 para evitar diferencias excesivas.

Además de lo expuesto en el documento maestro sobre las condiciones técnicas de los procedimientos para la evaluación de la eficiencia energética de los edificios, existe otro documento reconocido que amplía este punto, estableciendo un nivel mínimo de modelización. Se expone, que *“los programas alternativos [a HULC], en caso de que utilicen los ficheros climáticos oficiales, deberán calcular las variables meteorológicas derivadas de las anteriores que aparezcan en los cálculos. Como mínimo estas variables serán: temperatura de bulbo húmedo, densidad del aire y entalpía”* (IDAE, 2009b). En dicho documento, se establece valores por defecto de densidad del aire constante en función de la altura sobre el nivel del mar para aquellos programas que no contemplen la variación. Estas tres variables no aparecen directamente en los ficheros climáticos oficiales.

En el documento maestro no se menciona, pero en los ficheros climáticos oficiales la dirección del viento se establece como igual a 0, debido a que *“no hay datos fiables de dirección de viento para todas las localidades españolas”* como cita el documento de referencia asociado (IDAE, 2009a). Sin embargo, en la documentación sobre condiciones climáticas de proyecto sí aparecen valores de dirección media de viento en las diferentes estaciones meteorológicas del estado español, (IDAE, 2010). Este punto debería ser corregido porque la velocidad del viento juega un papel muy importante en la energética del edificio, fundamentalmente en lo relativo a las infiltraciones de aire y coeficientes de convección dinámicos.

En definitiva, en lo que a solicitudes exteriores se refiere, se debería asegurar que las reglas del juego son las mismas para todos los programas de cálculo reconocidos, dado que los ficheros climáticos son meras entradas de datos para llevar a cabo las simulaciones. De no ser así, se generarán diferencias en los resultados que podrían ser utilizadas para deliberadamente alterar la calificación energética obtenida. Conviene remarcar que hay multitud de procedimientos de subvención pública que tienen la certificación energética como un requisito obligatorio y puede ser motivación suficiente para elegir el fichero climático que mejor resultado otorgue, independientemente de si refleja la realidad ambiental o no.

La propuesta de modificación de lo expuesto en la *Tabla 3*, según las consideraciones anteriormente expuestas, sería la siguiente.

Solicitaciones exteriores				
Descripción	Tipo	Datos	Valor	Observaciones
Caracterización climática	1	Zona climática	Zona climática según Apéndice B de la sección HE1 del DB-HE	-
Datos climáticos normativos	1	Temperatura seca, humedad relativa, irradiancia solar sobre plano horizontal	Fichero climático. Disponible en documento descriptivo climas de referencia. Septiembre 2013. MFOM-DGAVS.	Los datos de radiación incluidos en los ficheros climáticos son coherentes con la latitud definida en ellos
Otros datos climáticos	1	Temperatura efectiva del cielo, irradiancia solar directa, irradiancia solar difusa, humedad específica, azimut solar, cénit solar	Ídem	

Tabla 4. Propuesta de indicaciones para las Condiciones técnicas relativas a las Solicitaciones Exteriores. Elaboración propia.

En el *Anexo II. Ficheros Climáticos*, se incluye un análisis de los diferentes ficheros utilizados por los diversos programas objeto de este trabajo, especificando las diferencias existentes entre ellos. Conviene destacar que, al ser parámetros de tipo 1, dicha diferencia no debería existir de ningún modo.

4.2.2. SOLICITACIONES INTERIORES

La correspondiente tabla del documento maestro referente a las solicitudes interiores y condiciones operacionales del edificio a certificar, es la siguiente:

Solicitaciones interiores de cálculo y condiciones operacionales				
Descripción	Tipo	Datos	Valor	Observaciones
Perfil de uso en edificio de uso residencial	1	Temperaturas de consigna baja y alta, carga de ocupación, carga de iluminación, carga de equipos y niveles de ventilación	Perfiles de uso. Disponibles en Apéndice C de la sección HE1 del DB-HE	-
Periodo de aplicación de condiciones diferenciadas de los elementos de oscurecimiento y las protecciones móviles	3	Periodo de aplicación de condiciones diferenciadas de elementos de oscurecimiento y protecciones solares móviles	1 de junio a 30 de septiembre	Otros períodos pueden ajustarse más adecuadamente al período de utilización de estos elementos
Régimen diario y modo de operación de los elementos de oscurecimiento en edificios de uso residencial privado	1	Accionamiento (sí/no) y % de superficie máxima del hueco oscurecida por el accionamiento de los elementos de oscurecimiento	Durante el período de aplicación Día (8h-24h): sí, 30% superficie oscurecida Noche (0h-8h): no Resto del año Día (8h-24h): no Noche (0h-8h): sí, 100% superficie oscurecida	La actuación de estos elementos se considera independiente de las de otras protecciones solares móviles
Régimen diario de operación de las protecciones solares móviles	3	Accionamiento de las protecciones solares móviles durante el día y la noche (sí/no) en el período de utilización a efectos de modificación del factor solar	Día (8h-24h): sí Noche (0h-8h): no	Otros períodos y horarios podrían adecuarse mejor al régimen previsto de uso, o al uso de dispositivos de control

Tabla 5. Condiciones técnicas relativas a las Solicitaciones Interiores y Condiciones Operacionales. (Ministerio de Industria Energía y Turismo, 2015b).

4.2.2.1. EXPOSICIÓN

Los **perfiles de uso en edificios de uso residencial** son valores de tipo 1 y, por lo tanto, obligatorio que sean fijados por un documento oficial, en este caso se encuentran en el Apéndice C del DB-HE 1. Se puede encontrar una reproducción en la *Tabla 140* y *Tabla 141*. También, para los edificios de uso residencial privado se tiene la obligatoriedad de fijar el **régimen diario y modo de operación de los elementos de oscurecimiento**. Estas condiciones son las mostradas en la siguiente tabla.

Horario de persianas cerradas	Modificación de la transmitancia térmica del hueco	Modificación del factor solar del hueco
	$U_{\text{modificado}} = U_{\text{original}} \cdot \text{factor}_U$	$g_{\text{modificado}} = g_{\text{original}} \cdot \text{factor}_g$
Noche ²	$\text{factor}_U = \frac{0,30}{1 + 0,165 \cdot U_{\text{original}}} + 0,70$	No procede
Día		$\text{factor}_g = 0,70$

Tabla 4.4 Modificación de la transmitancia térmica y el factor solar del hueco
² Véase la definición de noche y día en el Anexo III.

Tabla 6. Tabla sobre elemento de sombra estacional por defecto para viviendas. (IDAE, 2009b).

Son datos de tipo 3, ligados al proyecto, el **período de aplicación de condiciones diferenciadas de los elementos de oscurecimiento y las protecciones solares móviles**, así como su **régimen diario**.

4.2.2.2. DISCUSIÓN

En la línea de lo mencionado en el apartado anterior, es completamente lógico que los órganos oficiales fijen aquellos aspectos que influyan sobre las solicitudes interiores en lo que a **perfiles de uso** se refiere. Esto es así porque en las viviendas el uso que se hace del edificio suele ser muy parecido y, por lo tanto, es susceptible de ser fijado por normativa; a diferencia de lo que sucede en los edificios terciarios. Lo que se pretende con la simulación energética es caracterizar la calidad de un edificio, no la conducta de los ocupantes ni su responsabilidad energética; por lo tanto, unos valores por defecto comunes a todos los edificios residenciales privado constituyen una opción válida. De no hacerse de este modo, se podría proyectar asumiendo que los usuarios de los edificios actuarán de un modo responsable energéticamente y esa suposición podría ser suficiente para conseguir una demanda energética calculada menor.

En lo relativo a los **elementos de oscurecimiento**, sí queda fijado como obligatorio el **régimen diario y modo de operación** de los elementos de sombra anteriores. El efecto de los elementos de oscurecimiento cuando están funcionando tiene sentido que venga fijado por normativa, así como su régimen diario. De no hacerse, un proyectista podría plantear la situación irreal de tener durante todos los días de verano las persianas bajadas completamente para tratar de reducir la demanda energética de refrigeración. De nuevo se estaría posibilitando una situación de fraude intencionado.

En cuanto al **periodo de aplicación** de dichos elementos de sombra, este tipo de valor se define, en el documento maestro, como de tipo 3 y, por lo tanto, se define únicamente un valor por defecto, modificable en cualquier momento por un dato de proyecto alternativo. Una muestra de esta posible diferencia se constata en que en el documento maestro, (Ministerio de Industria Energía y Turismo, 2015b), se establece un valor de aplicación de dichos elementos de oscurecimiento desde el *“1 de junio a 30 de septiembre”*. Mientras que en virtud de lo expuesto en el Anexo III del documento del IDAE, (IDAE, 2009a), el verano se establece desde el último

sábado de marzo hasta el último sábado de octubre. Este punto se deja a criterio del proyectista y tiene sentido que sea así, dado que los períodos de bloqueo de la radiación directa mediante elementos de sombra no se aplican igual en el conjunto de zonas climáticas. En zonas frías, puede interesar dejar entrar los rayos del sol durante más meses que en zonas más cálidas. Además, una incorrecta definición de estos elementos únicamente causa un peor comportamiento energético de los edificios, teniendo que hacer frente a mayores demandas.

Un punto a considerar es que los ficheros climáticos vienen representados por la hora solar. Sin embargo, los valores de fuentes internas y lo relativo a las condiciones operacionales se definen en base a la hora civil, por lo que *“el programa alternativo deberá ajustar los perfiles horarios de uso y fuentes internas [...], o interpolar los datos meteorológicos que se suministran, para ajustarlos a la hora solar correspondiente a la hora oficial”* (IDAE, 2009a).

4.2.3. CONDICIONES DE CONTORNO EN LAS SUPERFICIES INTERIORES Y EXTERIORES

Lo que establece el documento maestro sobre condiciones técnicas de los programas de calificación energética en lo relativo a las condiciones de contorno en las superficies interiores y exteriores de los edificios residenciales es lo siguiente.

Condiciones de contorno en las superficies interiores y exteriores				
Descripción	Tipo	Datos	Valor	Observaciones
Radiación solar reflejada por las superficies adyacentes	2	Reflectividad de las superficies adyacentes. Albedo	$\rho=0,2$	-
Absorción de radiación solar por el terreno	2	Absortividad del terreno	$\alpha=0,8$	-
Absorción de radiación solar incidente en las superficies opacas exteriores	3	Absortividadde superficies exteriores	$\alpha=0,6$	-
Intercambio radiante de onda larga entre las superficies exteriores del edificio y su entorno	1	Emisividad de las superficies adyacentes al edificio	$\epsilon=1$	-

Tabla 7. Condiciones técnicas relativas a las Condiciones de Contorno en las Superficies Interiores y Exteriores. (Ministerio de Industria Energía y Turismo, 2015b)

Condiciones de contorno en las superficies interiores y exteriores				
Descripción	Tipo	Datos	Valor	Observaciones
Intercambio radiante de onda larga en las superficies exteriores del edificio y su entorno	2	Emisividad de onda larga en superficies exteriores del edificio	$\epsilon=0,9$	-
Transmisión de calor por convección en superficies exteriores del edificio	2	Coefficiente de película de la superficie exterior	$h=20 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$	-
Tratamiento mixto del intercambio convectivo y radiante de onda larga en superficies exteriores del edificio	2	Resistencia térmica superficial exterior $R_{se} [(\text{m}^2\text{K})/\text{W}]$	Valores según tabla 1 del DA DB-HE/1	Para procedimientos que no tratan la convección y el intercambio radiante de onda larga de forma independiente
Radiación solar absorbida por las superficies interiores	2	Absortividad de onda corta de la superficie interior	$\alpha=0,6$	Para el caso en el que el procedimiento calcule la redistribución
Radiación solar absorbida por las superficies interiores	2	Porcentaje del suelo cubierto por mobiliario	50%	Distribución de la radiación incidente entre suelo y mobiliario para el caso en el que el procedimiento calcule la redistribución
Radiación absorbida por las superficies interiores	2	Fraciones de reparto: suelo, mobiliario, techo y paredes	0,3; 0,3; 0,07; y 0,33 respectivamente (ponderado por área)	Para el caso en el que el procedimiento no calcule la redistribución

Tabla 8 (cont. Tabla 7). Condiciones técnicas relativas a las Condiciones de Contorno en las Superficies Interiores y Exteriores. (Ministerio de Industria Energía y Turismo, 2015b)

Condiciones de contorno en las superficies interiores y exteriores				
Descripción	Tipo	Datos	Valor	Observaciones
Absorción de radiación procedente de fuentes internas	2	Fracción radiante de las fuentes internas	Ocupantes: 0,6; Iluminación: 0,7; Equipos: 0,7	-
Absorción de radiación procedente de fuentes internas	2	Porcentaje de radiación procedente de las fuentes internas absorbida por las superficies interiores de cerramientos	Proporcional a las áreas	-
Intercambio radiante de onda larga entre las superficies interiores	2	Emisividad de onda larga en superficies interiores	$\epsilon=0,9$	-
Transmisión de calor por convección en superficies interiores	2	Coefficiente de película de la superficie interior	$h=2 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$	-
Tratamiento mixto del intercambio convectivo y radiante de onda larga en superficies interiores del edificio	2	Resistencia térmica superficial interior $R_{si} [(\text{m}^2\text{K})/\text{W}]$	Valores según tabla 1 del DA DB-HE/1	Para procedimientos que no tratan la convección y el intercambio radiante de onda larga de forma independiente
Peso y calor específico del mobiliario en el interior del edificio de uso residencial privado	1	Calor específico y peso medio del mobiliario	Calor específico: 1200 J/(kgK) Peso: 45 kg/m ²	Para el tratamiento de la inercia asociada al mobiliario bien como elemento independiente o como capacidad térmica agregada a la del aire

Tabla 9 (cont. Tabla 7). Condiciones técnicas relativas a las Condiciones de Contorno en las Superficies Interiores y Exteriores. (Ministerio de Industria Energía y Turismo, 2015b)

4.2.3.1. EXPOSICIÓN

Se consideran valores de tipo 1 el **intercambio radiante de onda larga entre las superficies exteriores de edificio y su entorno**, haciendo que se considere las superficies adyacentes al edificio como cuerpos negros a la temperatura de bulbo seco del aire, con emisividad igual a 1. El nivel mínimo de modelización tendrá que contemplar *“el efecto de obstrucción provocada por los obstáculos remotos ajenos al edificio, por el propio edificio, por los obstáculos de fachada y por los eventuales elementos de control solar [...]”* (IDAE, 2009b). Además, la radiación solar se considera, como mínima modelización, isótropa. También, se fija el **peso y calor específico del mobiliario en el interior del edificio de uso residencial privado**, siendo de 45 kg/m² y con 1.200 J/(kg·K). Estos parámetros persiguen contemplar la modificación de la inercia interior a causa de la existencia de muebles.

Son valores asociados al procedimiento de cálculo, la **radiación solar reflejada por las superficies adyacentes**, considerando una reflectividad de albedo de 0,2; la **absortividad del terreno**, establecida en 0,8. Así como la emisividad de las superficies adyacentes se fijaba en la unidad, de un modo obligatorio, la **emisividad de las superficies exteriores e interiores** se establece en un valor, modificable por el modelo, de 0,9. Se deja la puerta abierta a que el programa calcule la redistribución de dicha energía radiante. Si se considera, entonces se establece que un *“50% del suelo está cubierto por mobiliario con un 0,6 de absortividad”*, en lo referente a la **radiación solar absorbida por las superficies interiores**. Si no se considera, entonces se tiene unas *“fracciones de reparto entre suelo, mobiliario, techo y paredes de 0,3; 0,3; 0,07 y 0,33 respectivamente (ponderado por área)”*. También se establece como modificable por el procedimiento de cálculo el *“porcentaje de radiación procedente de las fuentes internas absorbida por las superficies interiores de cerramientos”*, definido por defecto como proporcional a las áreas. Para la **radiación procedente de fuentes internas**, se tiene unos valores por defecto en cuanto a las componentes convectivas de 0,4 para los ocupantes; 0,2 para la iluminación y 0,3 para los equipos. Pasando a la transmisión de calor por convección, se establecen como valores de tipo 2 los **coeficientes de película de la superficie exterior e interior**, en 20 y 2 W/(m²·K) respectivamente. Si el nivel de simplificación es mayor, para aquellos *“procedimientos que no tratan la convección y el intercambio radiante de onda larga de forma independiente”* se remite a la Tabla 1 y Tabla 6 del Documento de Apoyo 1 (en adelante, DA) al DB-HE para definir la **resistencia térmica superficial interior y exterior** (Dirección General de Arquitectura Vivienda y Suelo, 2015).

Son parámetros de tipo 3, valores por defecto completamente modificables por cualquier programa, la **absortividad de las superficies opacas exteriores**, recomendando 0,6

4.2.3.2. DISCUSIÓN

Fijar como parámetros obligatorios los expuestos en este párrafo como de tipo 1 es adecuado, dado que el efecto de sombreado causado por elementos ajenos al edificio puede resultar en un impacto notable en las cargas térmicas y no tendría sentido no definirlos en caso de que existieran. Por otro lado, definir como obligatorio un mobiliario típico también es conveniente, dado que la cantidad y tipología de muebles existentes en una vivienda típica es similar. Además, de no fijarse por defecto, la tendencia sería a no considerarlo, dada la complejidad a la hora de cuantificar su peso y ocupación del espacio de la vivienda.

En lo referente a los valores de tipo 2 relativos a las condiciones de contorno de las superficies interiores y exteriores, parecen razonables los valores establecidos. No obstante, se deja la puerta abierta a modelos de representación que sí consideren, por ejemplo, la redistribución de la radiación en el interior de las viviendas. Los valores radiantes parece razonable que se fijen en unos mínimos para aquellos programas que no lleven a cabo un exhaustivo cálculo de transmisión de calor por radiación. Además, en edificios residenciales, los acabados superficiales del interior suelen ser similares; no necesariamente así, los de las superficies exteriores, dado que el entorno puede ser tanto rural como urbano, de ahí la posibilidad de una modificación de los valores de emisividad. Sin embargo, es común que el usuario desconozca las propiedades ópticas de su vivienda por lo que unos valores por defecto son muy convenientes en estos aspectos. Sin embargo, podría añadirse más facilidades para el usuario, dado que el valor óptico establecido tiene estrecha relación con el color de la superficie opaca exterior. Se podría dar al usuario la opción de elegir el color que tiene en los cerramientos exteriores, de este modo se tendría más rigor en la definición.

Es importante destacar la simplificación que se permite en la determinación de los coeficientes de película, dado que estos parámetros tienen dependencia con la velocidad y dirección del viento relativa a la superficie en cuestión, así como la diferencia de temperaturas entre esta y el aire. Es lógico, sin embargo, que se planteen unos valores de tipo 2, modificables por el procedimiento de cálculo, para la transmisión de calor por convección o convectivo-radiante. No tendría demasiado sentido que se forzara como obligatorio, dado que es una simplificación que puede causar desviaciones de la realidad considerables cuando existan velocidades de viento elevadas; tampoco tendría sentido que se dejara a criterio del proyectista, dado que la mayoría de las ingenierías no dominan la física tras los diferentes modos de transmisión de calor.

En los edificios de viviendas, la naturaleza de las cargas internas es muy similar, por lo tanto, una fijación de sus fracciones radiantes es completamente razonable.

Las modificaciones que añadiría quien suscribe este trabajo a las condiciones técnicas requeridas para las condiciones de contorno en las superficies interiores y exteriores del edificio no serían en materia de variación de tipología de los datos. Lo que sería de ayuda sería añadir un desglose de colores de acabados superficiales interiores y exteriores, para poder ajustar de un modo más realista los valores de emisividad y absorptividad de la radiación. Se trataría de un añadido en el apartado de observaciones, afectando a las *Tabla 7* y *Tabla 9*, modificando los siguientes puntos.

Absorción de radiación solar incidente en las superficies opacas exteriores	3	Absortivdadde superficies exteriores	$\alpha=0,6$	Añadir desglose de colores, para tener una estimación más ajustada al acabado superficial real del edificio.
---	---	--------------------------------------	--------------	--

Tabla 10. Modificación propuesta para lo expuesto en la *Tabla 7*. Elaboración propia.

Intercambio radiante de onda larga entre las superficies interiores	2	Emisividad de donda larga en superficies interiores	$\epsilon=0,9$	Añadir desglose de colores, para tener una estimación más ajustada al acabado superficial real del edificio.
---	---	---	----------------	--

Tabla 11. Modificación propuesta para lo expuesto en la *Tabla 9*. Elaboración propia.

4.2.4. TRANSMISIÓN Y RADIACIÓN EN CERRAMIENTOS OPACOS Y EL TERRENO

El documento maestro establece lo siguiente sobre las condiciones técnicas del modelado de la transmisión y radiación en cerramientos opacos y el terreno.

Transmisión y radiación en cerramientos opacos y el terreno				
Descripción	Tipo	Datos	Valor	Observaciones
Transmisión unidimensional por conducción	3	Conductividad λ . Resistencia térmica, R. Densidad ρ y Capacidad calorífica, c		-
Transmisión bidimensional o tridimensional por conducción, puentes térmicos	3	Transmitancia térmica lineal Ψ o puntual χ en su caso	Ídem	Además de poder calcularse los valores según programas específicos de puentes térmicos, se dispone de valores incluidos en catálogos o atlas de puentes térmicos, como el de DA DB-HE/3
Transmisión a través de cerramientos en contacto con el terreno	2	Conductividad λ . Densidad ρ y Calor específico del terreno, ce	$\lambda= 2/W(mK)$, $\rho= 2000 \text{ kg/m}^3$, $ce=1000 \text{ J/(kgK)}$	-

Tabla 12. Condiciones técnicas relativas a la Transmisión y Radiación en Cerramientos Opacos y el Terreno. (Ministerio de Industria Energía y Turismo, 2015b).

4.2.4.1. EXPOSICIÓN

En este punto no existen valores de tipo 1, siendo las **características térmicas del terreno** datos de tipo 2, establecidos en una conductividad de $2 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$, una densidad de 2.000 kg/m^3 y un calor específico de $1.000 \text{ J/(kg}\cdot\text{K)}$.

Valores por defecto o ligados al proyecto concreto, tipo 3, son los parámetros de **transmisión [de calor] unidimensional por conducción y transmisión bidimensional o tridimensional [de calor] por conducción, puentes térmicos**. Estos últimos se permite que sean asociados al catálogo del DA 3 al DB-HE (Dirección General de Arquitectura Vivienda y Suelo, 2014), asumiendo la transmisión de calor por puentes térmicos como de tipo lineal, con unidades $\text{W/(m}\cdot\text{K)}$.

4.2.4.2. DISCUSIÓN

Es lógico que se establezca unos valores tipo para las condiciones del terreno, dado que no es habitual tener un estudio detallado de las características de este. Sin embargo, que se abra la puerta a un procedimiento de cálculo que tenga en cuenta más información es conveniente para no limitar la caracterización más detallada que se pueda conseguir con otro programa. La caracterización de la normativa es, por lo tanto, adecuada.

El punto de la transmisión de calor por conducción en cerramientos y puentes térmicos, es completamente apropiado, dado que cada proyecto es singular, con unas composiciones concretas de cerramientos opacos y puentes térmicos. Se proponen unos valores por defecto para aquellos parámetros que puedan ser desconocidos, como habitualmente sucede con los puentes térmicos.

4.2.5. TRANSMISIÓN Y RADIACIÓN EN HUECOS

El documento maestro establece las siguientes consideraciones en el modelado de la transmisión y radiación en huecos.

Transmisión y radiación en huecos				
Descripción	Tipo	Datos	Valor	Observaciones
Transmisión por conducción en huecos	3	Transmitancia térmica (U) de huecos semitransparentes y puertas	En proyecto, a partir de valores de proyecto. En edificios construidos, a partir de solución existente	En huecos semitransparentes se refiere a la transmitancia térmica (U) conjunta de vidrio y marco
Absorción de radiación de onda corta en la superficie exterior de huecos semitransparentes y puertas	3	Absortividad	Ídem	En ausencia de datos específicos, se pueden emplear en huecos semitransparentes los valores del DA DB-HE/1 en función del color del marco, y en puertas $\alpha=0,7$
Modificación de la transmisión por conducción y factor solar en huecos con elementos de oscurecimiento durante el periodo de aplicación de condiciones diferenciadas, en edificios de uso residencial privado	3	Modificación del factor solar (g) y la transmitancia térmica del hueco (U) cuando los elementos de oscurecimiento están accionados	Según características del elemento de oscurecimiento y modo de operación indicado en el punto 4	En ausencia de datos específicos: $g_{mod}=0,7 \cdot g_{original}$ $U_{mod}=U_{original} \cdot (0,70+0,30/(1+0,165 \cdot U_{original}))$
Sombra de protecciones solares	3	Factor de sombra para elementos de protección solar fijos y estacionales	-	En ausencia de datos específicos se pueden emplear los valores del DA DB-HE/1

Tabla 13. Condiciones técnicas relativas a la Transmisión y Radiación en Huecos. (Ministerio de Industria Energía y Turismo, 2015b)

4.2.5.1. EXPOSICIÓN

Todos los valores referentes a este apartado son del tipo 3. La **transmisión por conducción en huecos** se define mediante la transmitancia térmica conjunta de vidrio y marco, el cual se deja a criterio del proyectista. Para el caso particular de las puertas de referencia, se considera lo siguiente.

Tipo de puerta	Transmitancia Térmica (W/m²K)
Puerta Metálica	5,7
Puerta de Madera	2,2

Tabla 4.5. Transmitancias térmicas de las puertas

Tabla 14. Tabla sobre la transmitancia térmica de las puertas.

En lo relativo a la **absortividad de los huecos y puertas**, se remite a los valores de proyecto, aunque se facilita valores por defecto presenten en el DA 1 del DB-HE, citado anteriormente; se ofrecen valores en función del color y se establece como 0,7 para las puertas. Se traslada al mismo documento de apoyo para las **sombras de protecciones solares** y se remite a lo expuesto en la *Tabla 6* para la “*modificación de la transmisión por conducción y factor solar en huecos con elementos de oscurecimiento [...]*”. Como nivel mínimo de modelización se establece que las propiedades ópticas deben ser dependientes del ángulo de incidencia de la radiación solar directa. Para ello, el guía del IDAE asociada establece lo siguiente (IDAE, 2009b).

	Vidrios Simples	Otros Vidrios
Absortividad a incidencia normal	$0.97 \times g_{\perp}$	$0.93 \times g_{\perp}$
Transmisividad a incidencia normal	$0.11 \times g_{\perp}$	$0.28 \times g_{\perp}$
Reflectividad a incidencia normal	$r = 1 - \alpha - \tau$	

Tabla 4.2 Obtención de las propiedades ópticas a partir del factor solar (g_{\perp})

Tabla 15. Tabla sobre las propiedades ópticas a partir del factor solar de los huecos.

Ángulo	Vidrios Simples	Otros Vidrios	
	g, τ, α	g, τ	α
0	1	1	1
10	0.999	0.999	1
20	0.997	0.996	1.010
30	0.993	0.990	1.030
40	0.983	0.976	1.050
50	0.959	0.946	1.100
60	0.894	0.873	1.210
70	0.746	0.691	1.470
80	0.459	0.352	1.650
90	0	0	0

Tabla 4.3 Variación de las propiedades ópticas con el ángulo de incidencia

Tabla 16. Tabla sobre la variación de las propiedades anteriores con el ángulo de incidencia

Para obtener las relativas a la radiación difusa, los valores de la tabla anterior, *Tabla 16*, se multiplicarán por 0,9.

4.2.5.2. DISCUSIÓN

Como sucedía en el apartado de *Transmisión y radiación en cerramientos opacos y el terreno*, los valores deben ser ligados a las condiciones concretas del proyecto, para poder reflejar las soluciones reales proporcionadas. Sin embargo, el ofrecimiento de valores por defecto, sobre todo para las propiedades ópticas, a menudo no tan conocidas, es conveniente para definir la energética del edificio al completo. Por otro lado, la modelización de la variación de las propiedades ópticas de los vidrios con el ángulo de incidencia de la radiación solar es adecuada, dado que permite dotar al modelo de un cierto carácter dinámico.

4.2.6. RENOVACIÓN DE AIRE

Las condiciones técnicas que el documento maestro sobre procedimientos de calificación energética en edificios establece lo siguiente respecto a la renovación de aire.

Renovación de aire				
Descripción	Tipo	Datos	Valor	Observaciones
Escenarios de cálculo	2	Velocidad del viento para el cálculo de la renovación de aire	El caudal de aire intercambiado con el exterior se calculará como promedio de los obtenidos para velocidad del viento igual a 0 m/s y 4 m/s	En los espacios de edificios no destinados a vivienda se supone que, durante las horas de ocupación, un sistema de impulsión compensa la infiltración, coincidiendo el caudal de aire exterior con el de ventilación. En uso residencial privado se considera un caudal de extracción de 50 l/s, adicional al caudal de aire exterior mínimo, debido al uso de una campana extractora en la cocina durante 1 hora al día.
Tasa de renovación de aire en zonas no habitables	3	Estanqueidad de la zona no habitable	Número de renovaciones en una hora	Por defecto se pueden adoptar los valores indicados en Documento de Apoyo DA DB-HE/1, pudiendo adoptar valores de proyecto o del edificio existente cuando existan sistemas específicos.
Renovación de aire en zonas habitables de edificios con uso residencial privado	3	Nivel de ventilación	Tasa de renovación de aire	Por defecto, se puede adoptar en estos espacios una tasa de renovación de aire de 0,63 ren/h.

Tabla 17. Condiciones técnicas relativas a la Renovación de Aire. (Ministerio de Industria Energía y Turismo, 2015b)

Renovación de aire				
Descripción	Tipo	Datos	Valor	Observaciones
Infiltración por opacos	1	Exponente de caudal (n) de la parte opaca de muros de fachada y cubiertas	n=0,67	-
Infiltración por opacos	3	Coefficiente de caudal de aire (C) de la parte opaca de muros de fachada y cubiertas, a 100 Pa	Coefficiente de flujo C para opacos: -Edificio nuevo o edificio existente en el que se hayan llevado a cabo intervenciones ligadas a una disminución de la infiltración por opacos: 16 m ³ /hm ² -Edificio existente: 29 m ³ /hm ²	Pueden justificarse valores alternativos según datos de proyecto (en edificios en proyecto) o solución existente (en edificios terminados o en edificios existentes), o mediante ensayo
Infiltración por huecos	1	Exponente de caudal (n) de huecos (puertas y ventanas)	n=0,67	-
Infiltración por huecos	3	Coefficiente de caudal de aire (C) de huecos (puertas y ventanas), a 100 Pa	Coefficiente C por defecto para puertas: 60 m ³ /hm ² Coefficiente C por defecto para ventanas, según clase de permeabilidad (UNE-EN 12207): -Clase 1: 50,0 m ³ /hm ³ -Clase 2: 27,00 m ³ /hm ² -Clase 3: 9,0 m ³ /hm ² -Clase 4: 3,0 m ³ /hm ²	Pueden justificarse valores alternativos según datos de proyecto (en edificios en proyecto) o solución existente (en edificios terminados o en edificios existentes), o mediante ensayo
Infiltración por aberturas de admisión	3	Exponente de caudal (n) de aberturas de admisión	n=0,50	Pueden justificarse valores alternativos según datos de proyecto (en edificios en proyecto) o solución existente (en edificios terminados o en edificios existentes), o mediante ensayo

Tabla 18 (cont. Tabla 17). Condiciones técnicas relativas a la Renovación de Aire. (Ministerio de Industria Energía y Turismo, 2015b)

Renovación de aire				
Descripción	Tipo	Datos	Valor	Observaciones
Infiltración por aberturas de admisión	3	Tipo y comportamiento de las aberturas de admisión	Por defecto, se consideran aberturas convencionales, encontrándose abiertas un 50% del tiempo y cerradas el 50% del tiempo restante. Su comportamiento está definido por la curva $qv = C \cdot (\Delta P)^n$	Para otros tipos (autorregulables, antirretorno, etc) pueden justificarse valores alternativos según datos de proyecto o solución existente, o mediante ensayo.
Infiltración por aberturas de admisión	3	Coefficiente de caudal de aire (C) a 100Pa	Coefficiente de caudal de aire por defecto $C = 1.0 \text{ m}^3/\text{h}\cdot\text{m}^2$.	Pueden justificarse valores alternativos según datos de proyecto (en edificios en proyecto) o solución existente (en edificios terminados o en edificios existentes), o mediante ensayo
Coefficientes de presión	3	Coefficientes de presión para considerar el efecto del viento	C_p expuesto = +0,25 para las fachadas a barlovento, C_p no expuesto = -0,50 para las fachadas a sotavento, C_p cubiertas = -0,60 para cubiertas (ángulo con la vertical $\leq 60^\circ$) Se considera que los elementos expuestos tienen un 50% de su superficie a barlovento y otro 50% a sotavento	La norma UNE-EN 15242 incluye más información sobre procedimientos de determinación de los coeficientes de presión.
Exposición al viento	3	Área expuesta	Se puede considerar, por defecto, que los elementos expuestos tienen un 50% de su superficie a barlovento y otro 50% a sotavento	-

Tabla 19. (cont. Tabla 17). Condiciones técnicas relativas a la Renovación de Aire. (Ministerio de Industria Energía y Turismo, 2015b)

4.2.6.1. EXPOSICIÓN

Para la renovación de aire se tiene un único parámetro de tipo 1, el **exponente de caudal (n)** tanto para la parte opaca de muros de fachada, cubiertas y huecos, fijado en 0,67.

El único dato de tipo 2, relativo a la **velocidad del viento para el cálculo de la renovación de aire** expone que se debe promediar los cálculos obtenidos con una velocidad del viento de 0 y 4 m/s. Además, se incluye la observación que *“se considera un caudal de extracción de 50 l/s, adicional al caudal de aire exterior mínimo, debido al uso de una campana extractora en la cocina durante 1 hora al día”*. En lo relativo al nivel mínimo de modelización se establece que *“para aquellos espacios con impulsión de aire y para las horas en las que dicha impulsión esté activada, se supondrá que el caudal de aire impulsado compensa la infiltración; por lo que el caudal de aire exterior a considerar en estas circunstancias y para los espacios citados será el de ventilación”*.

Existen varios parámetros considerados de tipo 3. Estos son, las **tasas de renovación de aire en zonas no habitables** y la **renovación de aire en zonas habitables de edificio con uso residencial privado**, remitiéndose al DA 1 del DB-HE y al valor por defecto de 0,63 ren/h. La guía del IDAE asociada establece un valor de 0,30 ren/h para espacios habitables en edificios de viviendas unifamiliares y de 0,24 para los bloques de viviendas. Aunque el exponente de caudal sí se define como obligatorio y fijado por la documentación de referencia, el **coeficiente de caudal (C) a 100 Pa** se deja libre a la realización de ensayos o al valor por defecto de $16 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$ para la parte opaca de muros exteriores y cubiertas en edificios nuevos. Para puertas se tiene un valor por defecto de $60 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$, remitiendo a la norma UNE-EN 12207 y sus clases de permeabilidad para ventanas; se asume clase 2 con $27 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$. Para las aberturas de admisión se tiene que el **exponente de caudal (n)** se establece, por defecto, en 0,5; el **coeficiente de caudal (C) a 100 Pa** en $10 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$. Se asume que dichas aberturas se encuentran *“abiertas un 50 % del tiempo y cerradas el 50% del tiempo restante”*. En lo referente a la **exposición al viento**, se tiene que *“se puede considerar, por defecto, que los elementos expuestos tienen un 50% de su superficie a*

barlovento y otro 50% a sotavento". Finalmente, los **coeficientes de presión para considerar el efecto del viento** son "+0,25 para las fachadas a barlovento, -0,50 para las fachadas a sotavento y 0-60 para cubiertas (ángulo con la vertical $\leq 60^\circ$)".

4.2.6.2. DISCUSIÓN

El valor de tipo 1 se asume como válido al reflejar el promedio entre el régimen laminar y el turbulento del aire, los cuales tendrían un coeficiente de 0,5 y 1 respectivamente, según la literatura de referencia consultada.

Para el único valor de tipo 2, la solución no parece la más adecuada, dado que el promedio de los cálculos en base a dos velocidades arbitrarias del viento puede arrojar resultados que difieran con los valores de velocidad de viento presentes en el fichero climático normativo. En cualquier caso, se debería utilizar los valores de velocidad del viento que deberían estar presentes en los ficheros ambientales. En cuanto a lo relativo a la modelización de la campana de extracción en la cocina, parecería más lógico que se tratara de un valor de tipo 3, dado que se podría tener una campana con filtro de carbono donde no se produjera una extracción propiamente dicha.

En lo relativo a los valores de tipo 3, parece razonable que se establezca unos valores por defecto, dado que la mayoría de los parámetros sobre renovación de aire requerirían un conocimiento sobre la física de la turbulencia y la mecánica de fluidos no generalizado. En este punto se ha descubierto una discrepancia entre la información presente en el documento maestro, (Ministerio de Industria Energía y Turismo, 2015b), y la guía del IDAE asociada, (IDAE, 2009b). En el primero documento se muestra el coeficiente para fachadas a sotavento citado anteriormente, mientras que en el segundo se toma el mismo valor en positivo. Este hecho podría causar diferencias en cuanto a qué valor recurren los programas a la hora de la modelización de las infiltraciones de aire exterior.

El último comentario relativo a la discusión de las condiciones técnicas relativas a la renovación de aire, va dirigido a la renovación de aire en las zonas habitables en edificios de uso residencial privado. El nivel de renovación de aire se ofrece como 0,63 ren/h, sin embargo, el DB-HS 3 establece directrices para hacer un cálculo más ajustado en función de los locales húmedos y secos. A juicio de quien suscribe este trabajo, en este punto se debería remitir a esa fracción de la normativa del CTE. Se ha reproducido en el *Anexo I. Generación del edificio de referencia*.

Tras las consideraciones expuestas, se modificaría lo establecido en la *Tabla 17*, quedando del siguiente modo.

Renovación de aire				
Descripción	Tipo	Datos	Valor	Observaciones
Escenarios de cálculo	2	Velocidad del viento para el cálculo de la renovación de aire	El caudal de aire intercambiado con el exterior se calculará teniendo en cuenta las velocidades del viento presentes en el fichero climático.	En los espacios de edificios no destinados a vivienda se supone que, durante las horas de ocupación, un sistema de impulsión compensa la infiltración, coincidiendo el caudal de aire exterior con el de ventilación.
Tasa de renovación de aire en zonas no habitables	3	Estanqueidad de la zona no habitable	Número de renovaciones en una hora	Por defecto se pueden adoptar los valores indicados en Documento de Apoyo DA DB-HE/1, pudiendo adoptar valores de proyecto o del edificio existente cuando existan sistemas específicos.
Renovación de aire en zonas habitables de edificios con uso residencial privado	3	Nivel de ventilación	Tasa de renovación de aire	Se remite al DB-HS 3 para el cálculo.

Tabla 20. Propuesta de modificación parcial de Condiciones técnicas relativas a la Renovación de Aire. Elaboración propia.

Además, se haría el siguiente añadido a las Condiciones técnicas relativas a la Renovación de Aire.

Existencia de campana extractora	3	Caudal adicional de infiltración	Si se tiene una campana convencional, + 50 l/s. Si se tiene una campana de carbón activo, nulo.	Se asume un uso de una campana extractora en la cocina durante 1 hora al día.
----------------------------------	---	----------------------------------	---	---

Tabla 21. Añadido a las Condiciones técnicas relativas a la Renovación de Aire. Elaboración propia.

4.2.7. EQUIPOS

El documento maestro establece lo siguiente en lo referente a los equipos en los procedimientos de calificación energética.

Equipos				
Descripción	Tipo	Datos	Valor	Observaciones
Características de los equipos de climatización a considerar por defecto en espacios no dotados de sistemas de climatización en edificios de uso residencial privado	1	Rendimiento	Tabla 2.2 Sección HE0 del DB-HE	-
Comportamiento de los sistemas energéticos	3	curvas de rendimiento de equipos, factores de corrección	En proyecto, a partir de valores de proyecto. En edificios construidos, a partir de solución existente.	-
Potencia de los generadores térmicos	3	Potencia de los equipos	En proyecto, a partir de valores de proyecto. En edificios construidos, a partir de solución existente.	En el caso de que los sistemas definidos por el usuario no permitan operar dentro de las temperaturas de consigna fijadas, se supondrá que son suplementados por equipos con potencia suficiente para alcanzar dichas condiciones y con características iguales a los definidos para el edificio de referencia.

Tabla 22. Condiciones técnicas relativas a los Equipos. (Ministerio de Industria Energía y Turismo, 2015b)

4.2.7.1. EXPOSICIÓN

Se establece como obligatorio las **características de los equipos de climatización a considerar por defecto en espacios no dotados de sistemas de climatización en edificios de uso residencial privado**, remitiendo a la Tabla 2.2. del DB-HE0 (Ministerio de Fomento, 2017).

Como dependientes del proyecto o establecidos por defecto se tiene las **curvas de rendimiento de equipos y factores de corrección**, así como la **potencia de los equipos**.

Se menciona, además, en la guía del IDAE que *“las demandas mensuales [...] que no superen el umbral especificado no se computarán a la hora de calcular la demanda anual [...] del edificio”* (IDAE, 2009b). Estos umbrales son 1,2 y 1,5 kWh/m² para calefacción y refrigeración respectivamente.

4.2.7.2. DISCUSIÓN

Parece razonable que se asuman unos equipos de referencia si el usuario no define ningún sistema, dado que podría llevar a engaño la consecución de un reducido consumo energético causado por una incapacidad de mantener las condiciones de confort.

Por otro lado, los valores de tipo 3 indicados en el documento maestro tiene sentido que sean así, dado que la tecnología elegida por el usuario puede ser cualquiera de las existentes en el mercado.

4.3. PROGRAMAS A ANALIZAR

Según establece el Ministerio de Energía, Turismo y Agenda Digital, a través de la Secretaría de Estado de Energía, en su página web, *“A partir del 14 de enero de 2016 sólo serán admitidos por los Registros de las Comunidades Autónomas los certificados de eficiencia energética realizados con la última versión actualizada de la Herramienta unificada LIDER-CALENER (HULC), del CE3, del CE3X o del CERMA”* (Ministerio de Energía Turismo y Agenda Digital, n.d.-c).

Además de esos programas, existe otro, llamado CYPETHERM HE PLUS, que, pese a no estar reconocido en el momento de inicio de este trabajo, obtuvo la aprobación de la Comisión Asesora celebrada el 13 de julio de 2017. El período de información pública se inició el 21 de julio de 2017 y finalizó el 21 de septiembre de 2017. Finalmente, el 15 de diciembre de 2017 la Comisión Asesora *“resolvió una probación condicionada a la subsanación de determinados aspectos”*. Estos fueron subsanados debidamente y se propuso, por parte del grupo de trabajo, su habilitación como documento reconocido (Grupo de trabajo de documentos reconocidos de certificación de eficiencia energética de Edificios, 2018b). Sin embargo, durante la última etapa en la realización de este trabajo, obtuvo el rango de documento reconocido.

También se tiene un programa adicional, llamado SG SAVE, capaz de calcular la calificación energética y que, pese a no estar reconocido en la fecha que se inicia este trabajo, *“incluye todas las condiciones de contorno necesarias para realizar la simulación y cumple con lo establecido definidos en el apartado 5 del CTE, así como lo especificado en el documento reconocido sobre Condiciones técnicas de los procedimientos para la evaluación de la eficiencia energética en edificios”* como se muestra en la publicación realizada en el IV Congreso Edificios Energía Casi Nula (Congreso, Energ, & Nula, 2017). Con unos plazos idénticos a los mencionados para el software CYPETHERM HE PLUS, y habiendo subsanado los particulares fruto de la revisión por parte del grupo de trabajo, se propuso para su habilitación como documento reconocido (Grupo de trabajo de documentos reconocidos de certificación de eficiencia energética de Edificios, 2018c). De un modo análogo a CYPETHERM HE PLUS, obtuvo el rango de documento reconocido con anterioridad a la presentación de este trabajo.

Por último, se va a realizar un modelo en EnergyPlus, desde cero y de un modo manual, contemplando lo que, a juicio de quien redacta este trabajo, sería el reflejo de la realidad más ajustada con las condiciones constructivas y operacionales de referencia para los dos edificios contemplados.

En el siguiente apartado se va a proceder a realizar una descripción más exhaustiva del funcionamiento de cada uno de estos 6 programas reconocidos, para la certificación energética en comparación con el modelo propio en EnergyPlus. Este paso de análisis servirá como apoyo para, posteriormente, entender las diferencias obtenidas en los resultados de simulación, y posterior certificación, energética de un mismo edificio. Siempre teniendo en cuenta que *“(la) demanda (del edificio) depende de la epidermis del edificio, las excitaciones climáticas, las características ocupacionales y funcionales y del procedimiento de cálculo”* (IDAE, 2009a).

4.3.1. HULC

HULC es el programa de referencia para el “*procedimiento general para la Certificación Energética de edificios en proyecto, terminados y existentes*” (Ministerio de Energía Turismo y Agenda Digital, n.d.-c). Esta herramienta es capaz de “*determinar la demanda energética de calefacción y refrigeración del edificio objeto y del edificio de referencia a partir de los parámetros de definición geométrica, constructiva y operacional mencionados en el apartado 5 y con los datos climáticos que se incluyen en el Anexo I de este documento*” (IDAE, 2009a). Como se mencionó en el apartado anterior, la cita anterior es únicamente cierta para los edificios de uso distinto al residencial privado.

Al ser el software de referencia por excelencia, actualmente, los valores no normativos se establecen en los parámetros por defecto propuestos en los apartados anteriores. A continuación, se expone, en la medida de lo posible, los valores o procedimientos establecidos para obtener aquellos datos que son de tipo 2 o 3 y que, por lo tanto, son fruto de discrepancias entre los programas a comparar. Así como se demuestra, en la medida de lo posible, si el programa hace uso de los valores de tipo 1 o no.

4.3.1.1. SOLICITACIONES EXTERIORES

Esta herramienta de certificación hace uso de unos ficheros climáticos ligados a la zona climática, tanto para las variables denominadas como normativas como para aquellas no normativas. Utiliza los ficheros en formato *.bin, no en el formato *.MET de los ficheros climáticos oficiales; se presenta la diferencia que, en los ficheros utilizados por el programa, la humedad relativa no se encuentra explícitamente.

Para el cálculo de las variables meteorológicas derivadas mínimas: temperatura de bulbo húmedo, densidad del aire y entalpía, no se especifica en la normativa el procedimiento estándar ni ha sido posible encontrar el procedimiento seguido por HULC. Sin embargo, sí se encuentran en el tipo de fichero climático utilizado por el programa.

	Solicitaciones exteriores		
	Caracterización climática	Datos climáticos normativos	Otros datos climáticos
HULC	Utiliza el concepto de zona climática	Contempla directamente dos de tres datos climáticos determinantes	Contempla directamente todos los datos climáticos no determinantes

Tabla 23. Tabla resumen sobre el tratamiento de HULC a las Condiciones técnicas relativas a Solicitaciones Exteriores. Elaboración propia.

Para mayor detalle en la discusión sobre la calidad a la hora de representar las solicitudes exteriores, se remite al *Anexo II. Ficheros Climáticos*.

El programa permite, aunque no ha sido necesario utilizarlo en la realización de este trabajo, crear sombras mediante la definición de polígonos externos al edificio.

4.3.1.2. DEFINICIÓN GEOMÉTRICA

Para la caracterización del modelo del edificio, en los cálculos radiantes exteriores y de sombra, se ha de definir geoméricamente la vivienda. Tal y como se expone en el apartado 5.3.4 Definición geométrica del manual asociado al programa, (IDAE, 2015), existen dos métodos en la definición de la geometría del edificio: a partir de planos de planta en formato *.dxf o sin el apoyo de los mismos.

Si se pretende hacer uso de los planos, estos necesitan estar definidos siguiendo una serie de reglas, como la utilización de varias capas, la tipología de línea utilizada y el sentido de definición de los vértices. Una vez se tiene la planta, se puede o bien dibujar teniendo el plano como guía, o directamente utilizar la geometría ahí definida para extruirla y posteriormente modificarla en el entorno 3D del programa. La definición sin planos consiste en, directamente y a mano alzada, trazar líneas y superficies para poder configurar volúmenes cerrados que representen los espacios.

La definición es algo tediosa y para un usuario que no esté acostumbrado a la representación gráfica en entornos 3D se convierte en una tarea difícil, de hecho, esta parte es la que más problemas y errores suele dar a los usuarios del programa y, con diferencia, es el cuello de botella para la utilización de este software.

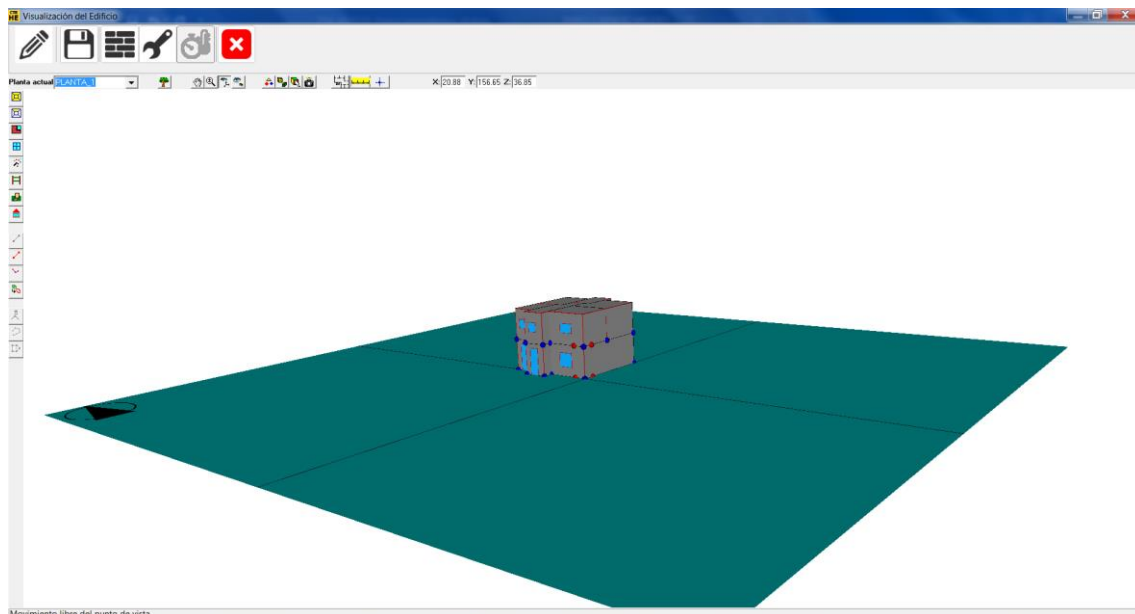


Figura 6. Interfaz gráfica de HULC.

4.3.1.3. SOLICITACIONES INTERIORES Y CONDICIONES OPERACIONALES

En lo relativo a los perfiles de uso y condiciones operacionales, se asume que se tienen fijados los expuestos en el *Anexo I. Generación del edificio de referencia*, dado que su definición explícita en los edificios de uso residencial privado está inhabilitada y son valores de tipo 1. Se muestra, sin embargo, para mayor claridad del lector, el editor para los edificios grandes terciarios, dado que para residenciales esta parte del programa se encuentra bloqueada. Se trata de un editor muy sencillo y gráfico que permite al usuario realizar la asignación a cada día del año de unas determinadas condiciones operacionales.

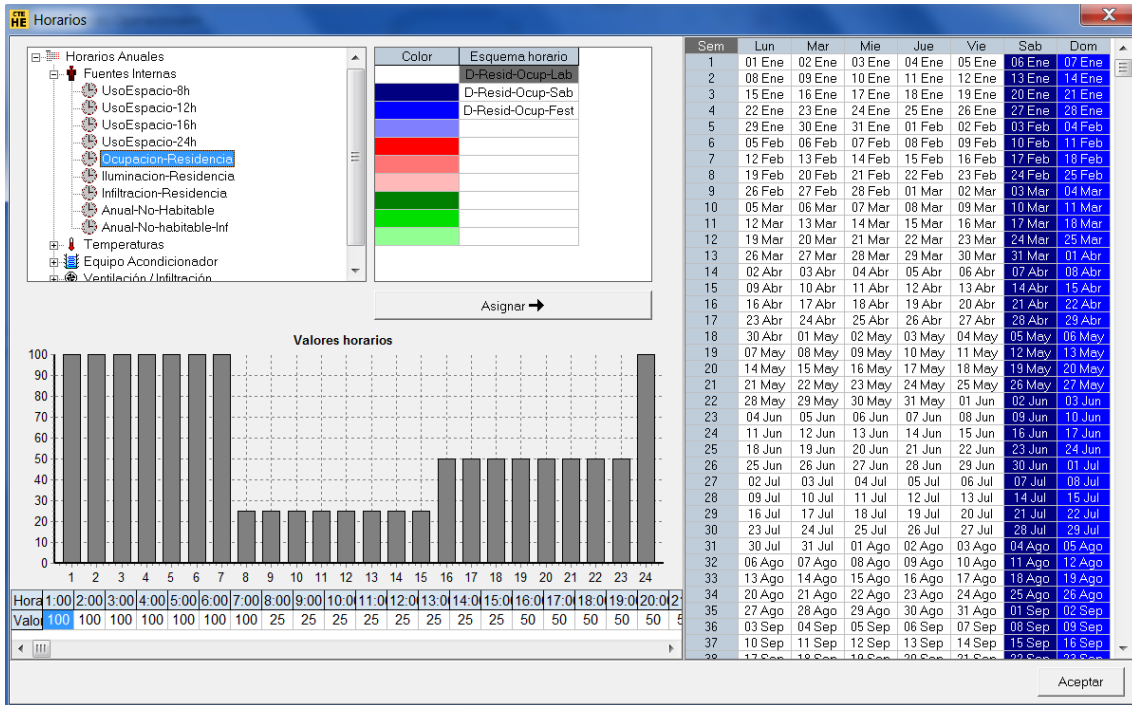


Figura 7. Gestor de condiciones operacionales de HULC.

El periodo de aplicación de los elementos de sombra estacional quedaba establecido, por defecto desde junio a septiembre, así es como muestra HULC la programación por defecto cuando se abre el programa por primera vez. No obstante, al ser un valor de tipo 3, se puede modificar por el usuario; para este trabajo se deja en el valor por defecto, al considerarse así las condiciones de referencia.

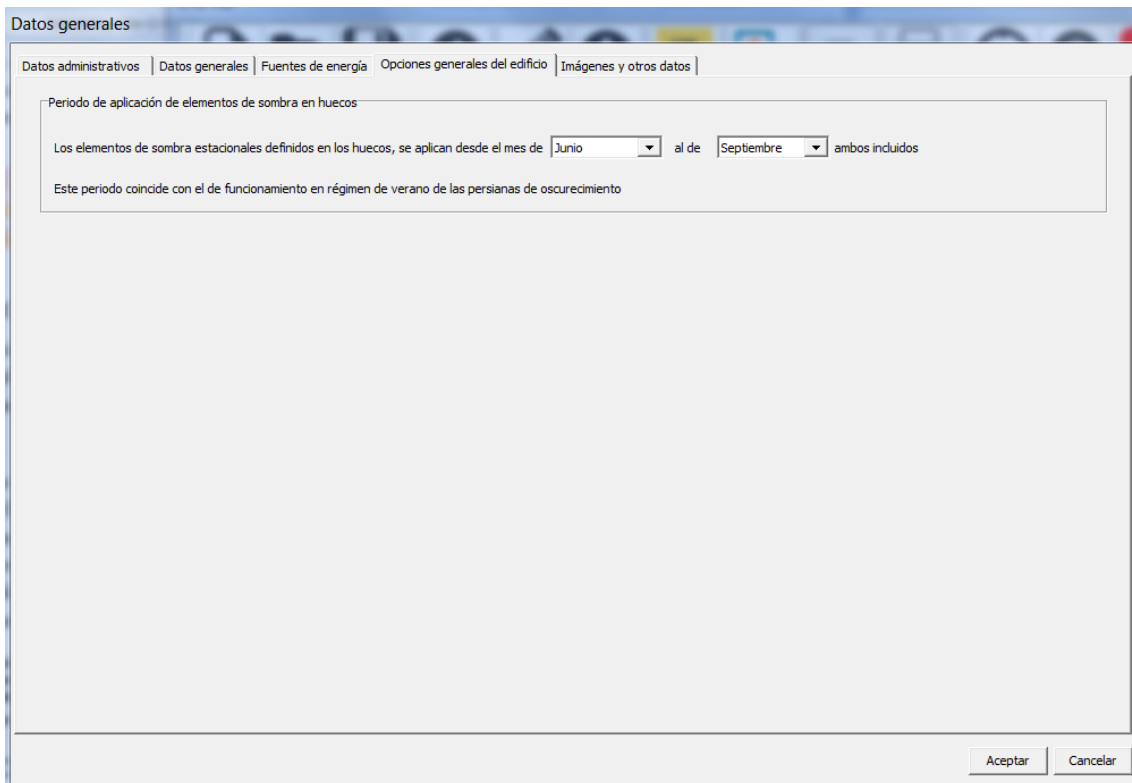


Figura 8. Periodo de aplicación de elementos de sombra en huecos. HULC.

Se asume que el régimen diario y modo de operación de los elementos de oscurecimiento en los edificios de viviendas, de igual modo que el de las protecciones solares móviles.

Solicitaciones interiores de cálculo y condiciones operacionales				
	Perfil de uso en edificios de uso residencial	Período de aplicación de condiciones diferenciadas de los elementos de oscurecimiento y las protecciones solares móviles	Régimen diario y modo de operación de los elementos de oscurecimiento en edificios de uso residencial privado	Régimen diario de operación de las protecciones solares móviles
HULC	Correcto	1 de junio a 30 de septiembre	Correcto	De día, sí; y de noche, no

Tabla 24. Tabla resumen sobre el tratamiento de HULC a las Condiciones técnicas relativas a Solicitaciones Interiores de cálculo y Condiciones Operacionales. Elaboración propia.

4.3.1.4. CONDICIONES DE CONTORNO EN LAS SUPERFICIES INTERIORES Y EXTERIORES

Se asume que todos los valores relativos a las condiciones de contorno en las superficies interiores y exteriores se establecen por defecto, tal y como se indica en el apartado anterior asociado, *Condiciones de contorno en las superficies interiores y exteriores*.

Por otro lado, la consideración de las fracciones radiantes y convectivas de las fuentes internas se asumen fijadas como los valores expuestos por defecto, dado que no hay modo de comprobarlo. Así como la no consideración del aspecto radiante de dichas fuentes de calor.

Condiciones de contorno en las superficies interiores y exteriores					
	Radiación solar reflejada por las superficies adyacentes	Absorción de radiación solar por el terreno	Absorción de radiación solar incidente en las superficies opacas exteriores	Intercambio radiante de onda larga entre las superficies exteriores del edificio y su entorno	Intercambio radiante de onda larga en las superficies exteriores del edificio y su entorno
	$\rho=0,2$	$\alpha=0,8$	$\alpha=0,6$	$\epsilon=1$	$\epsilon=0,9$
HULC	Correcto	Correcto	Correcto	Correcto	Correcto

Tabla 25. Tabla resumen sobre el tratamiento de HULC a las Condiciones técnicas relativas a Condiciones de Contorno en las superficies Interiores y Exteriores. Elaboración propia.

Condiciones de contorno en las superficies interiores y exteriores					
	Transmisión de calor por convección en superficies exteriores del edificio	Tratamiento mixto del intercambio convectivo y radiante de onda larga en superficies exteriores del edificio	Radiación solar absorbida por las superficies interiores	Radiación solar absorbida por las superficies interiores	Radiación absorbida por las superficies interiores
	$h=20 \text{ W/(m}^2\text{K)}$	Valores según tabla 1 del DA DB-HE/1	$\alpha=0,6$	50%	0,3; 0,3; 0,07; y 0,33 respectivamente (ponderado por área)
HULC	Correcto	Correcto	Correcto	Correcto	Correcto

Tabla 26 (cont. Tabla 25). Tabla resumen sobre el tratamiento de HULC a las Condiciones técnicas relativas a Condiciones de Contorno en las superficies Interiores y Exteriores. Elaboración propia.

Condiciones de contorno en las superficies interiores y exteriores						
	Absorción de radiación procedente de fuentes internas	Absorción de radiación procedente de fuentes internas	Intercambio radiante de onda larga entre las superficies interiores	Transmisión de calor por convección en superficies interiores	Tratamiento mixto del intercambio convectivo y radiante de onda larga en superficies interiores del edificio	Peso y calor específico del mobiliario en el interior del edificio de uso residencial privado
	Ocupantes: 0,6 Iluminación: 0,8 Equipos: 0,7	Proporcional a las áreas	$\epsilon=0,9$	$h=2 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$	Valores según tabla 1 del DA DB-HE/1	Calor específico: 1200 J/(kgK) Peso: 45 kg/m ²
HULC	Correcto	Correcto	Correcto	Correcto	Correcto	Correcto

Tabla 27 (cont. Tabla 25). Tabla resumen sobre el tratamiento de HULC a las Condiciones técnicas relativas a Condiciones de Contorno en las superficies Interiores y Exteriores. Elaboración propia.

4.3.1.5. TRANSMISIÓN Y RADIACIÓN EN CERRAMIENTOS OPACOS Y EL TERRENO

En lo relativo a la transmisión de calor, se caracteriza la transmisión unidimensional por conducción por las características constructivas expuestas en base al *Anexo I. Generación del edificio de referencia*. Se fija la transmisión por conducción en los puentes térmicos con los mismos valores por defecto expuestos en el anterior anexo, ignorando aquellos que no se encuentran en él, aunque sí se encuentren en el catálogo del DA 3 al DB-HE (Dirección General de Arquitectura Vivienda y Suelo, 2014).

A continuación, se muestra la longitud que establece HULC para los diferentes puentes térmicos considerados por la normativa.

Puentes térmicos	HULC (m)
Frente de forjado-fachada	24.09
Forjado de cubierta-fachada	54.33
Forjado de suelo al exterior-fachada	14.85
Esquina saliente	40.5
Esquina entrante	18.9
Hueco ventana	51.44
Pilar	1
Solera en contacto con terreno-pared exterior	28.18

Tabla 28. Desglose de longitudes de puentes térmicos normativos en HULC. Elaboración propia.

El programa HULC hace la división de los puentes térmicos asociados a la ventana en relacionados con alféizar, dintel y jamba; sin embargo, en la tabla anterior, se agrupan todas las longitudes en los huecos de la ventana. Resulta llamativo que en el recuento de puentes térmicos se tenga un cálculo de 1 metro de pilares, cuando a todas luces y, más aún, teniendo dos plantas, la longitud de puentes térmicos asociados a pilares sería más elevada, en el caso de considerarse.

En lo relativo a la aplicación práctica al programa, la definición de nuevos materiales y la asignación a superficies de cerramientos existentes en la geometría generada anteriormente es muy sencilla. Además, se presenta información sobre el valor de la transmitancia conforme se van añadiendo diferentes capas. De este modo, el usuario puede contrastar el valor obtenido de transmitancia, contemplando el efecto del coeficiente de película. El programa HULC, cuando se introducen los valores constructivos, arroja una transmitancia de $0,66 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$.

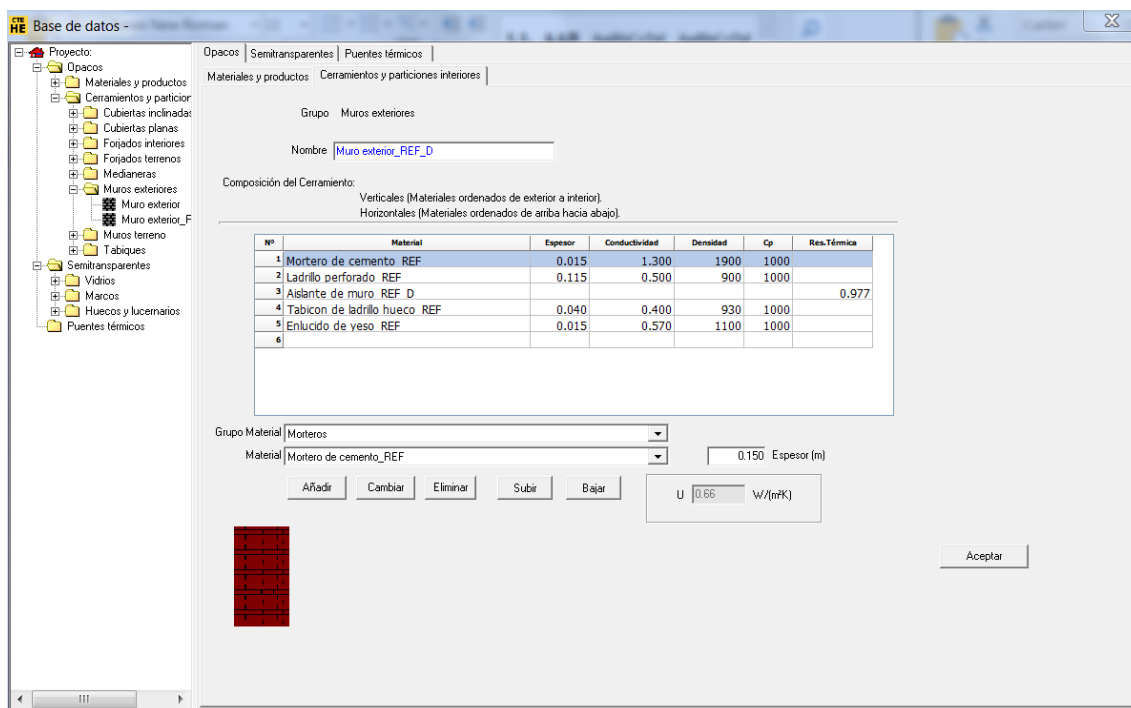


Figura 9. Gestor de cerramientos opacos y base de datos de HULC.

Además de incluirse en el manual del usuario de HULC, (IDAE, 2015), se constata la inclusión de los valores de coeficientes de película. El cálculo puramente constructivo, arroja el valor de transmitancia térmica de 0,744 W/(m²·K).

Muro Exterior	Espesor (m)	Conductividad (W/mK)	R(m2K/W)
Mortero_cemento_REF	0.015	1.300	0.012
Ladrillo_perforado_REF	0.115	0.500	0.230
Aislante_de_muro_REF_D			0.977
Ladrillo_hueco_REF	0.04	0.400	0.100
Enlucido_de_yeso_REF	0.015	0.570	0.026
Rtotal (m2K/W)			1.345
Utotal (W/m2K)			0.744

Tabla 29. Desglose de características térmicas del muro exterior. Elaboración propia.

Como se expone en el DA 1 al DB-HE, (Dirección General de Arquitectura Vivienda y Suelo, 2015), el cálculo de transmitancia térmica contemplando los valores de resistencia superficial exterior e interior, arroja los siguientes resultados, contemplando los valores de resistencia mencionados en el anterior documento.

Muro Exterior	Espesor (m)	Conductividad (W/mK)	R(m2K/W)
Res. Term. superficial ext			0.040
Mortero_cemento_REF	0.015	1.3	0.012
Ladrillo_perforado_REF	0.115	0.5	0.230
Aislante_de_muro_REF_D	0	0	0.977
Ladrillo_hueco_REF	0.04	0.4	0.100
Enlucido_de_yeso_REF	0.015	0.57	0.026
Res. Term. superficial int			0.130
Rtotal (m2K/W)			1.515
Utotal (W/m2K)			0.660

Tabla 30. Desglose de características térmicas del muro exterior completo. Elaboración propia.

Conviene destacar que, como se observa en la comparativa del valor de transmitancia térmica de la *Figura 9* y la *Tabla 30*, los valores coinciden.

El programa HULC hace uso de las resistencias térmicas superficiales (Ministerio de Industria Energía y Turismo, 2015b). Se observa, también, que los coeficientes de película exterior e interior son los expuestos en el apartado general anterior, *Transmisión y radiación en cerramientos opacos y el terreno*. Conclusiones análogas a las expuestas para la construcción de muro exterior se siguen para el resto de los cerramientos opacos del edificio, así como para los en contacto con el terreno. A continuación, se muestra la comparativa de la totalidad de cerramientos; representando el valor teórico tomando en cuenta los elementos constructivos del Anexo I. *Generación del edificio de referencia* y los valores de resistencias térmicas superficiales del DA 1 al DB-HE, (Dirección General de Arquitectura Vivienda y Suelo, 2015), comparado con el máximo establecido por la normativa y con el valor arrojado por HULC.

Muro Exterior	Espesor (m)	Conductividad (W/mK)	R(m2K/W)	Umax (W/m2K)	HULC
Res. Term. superficial ext			0.040		
Mortero_cemento_REF	0.015	1.3	0.012		
Ladrillo_perforado_REF	0.115	0.5	0.230		
Aislante_de_muro_REF_D			0.977		
Ladrillo_hueco_REF	0.04	0.4	0.100		
Enlucido_de_yeso_REF	0.015	0.57	0.026		
Res. Term. superficial int			0.130		
Rtotal (m2K/W)			1.515		
Utotal (W/m2K)			0.660	0.66	0.66

Tabla 31. Desglose de características térmicas de muro exterior completo comparativo con HULC. Elaboración propia.

Como se ha avanzado en el párrafo anterior, a modo de ejemplo, se tiene la comparativa y coincidencia exacta entre los valores.

Cubierta	Espesor (m)	Conductividad (W/mK)	R(m2K/W)	Umax (W/m2K)	HULC
Res. Term. superficial ext			0.040		
Plaqueta_o_balosa_ceramica_REF	0.015	1	0.015		
Mortero_de_cemento_REF	0.015	1.3	0.012		
Aislante_de_cubierta_REF_D			2.224		
Hormigon_con_aridos_ligeros_REF	0.07	1.15	0.061		
Forjado_ceramico_REF	0.25	1.67	0.150		
Res. Term. superficial int			0.100		
Rtotal (m2K/W)			2.601		
Utotal (W/m2K)			0.384	0.38	0.38

Tabla 32. Desglose de características térmicas de cubierta completo comparativo con HULC. Elaboración propia.

Se observa, de nuevo, la coincidencia prácticamente total entre los valores teóricos, límites y los establecidos por HULC.

Medianera	Espesor (m)	Conductividad (W/mK)	R(m2K/W)	Umax (W/m2K)	HULC
Res. Term. superficial ext			0.130		
Enlucido_de_yeso_REF	0.015	0.570	0.026		
Tabicon_de_ladrillo_hueco_REF	0.07	0.400	0.175		
Aislante_de_medianera_REF_D			0.369		
Tabicon_de_ladrillo_hueco_REF	0.07	0.4	0.175		
Enlucido_de_yeso_REF	0.015	0.57	0.026		
Res. Term. superficial int			0.130		
Rtotal (m2K/W)			1.032		
Utotal (W/m2K)			0.969		1.06

Tabla 33. Desglose de características térmicas de medianera completo comparativo con HULC. Elaboración propia.

Forjado al terreno	Espesor (m)	Conductividad (W/mK)	R(m2K/W)	Umax (W/m2K)	HULC
Res. Term. superficial ext			0.015		
Plaqueta_o_balosa_ceramica_REF	0.015	1	0.015		
Mortero_de_cemento_REF	0.015	1.3	0.012		
Aislante_de_suelo_REF_D	0	0	1.764		
solera_de_hormigon_armado	0.2	2.5	0.080		
Res. Term. superficial int			0.170		
Rtotal (m2K/W)			2.041		
Utotal (W/m2K)			0.490	0.66	0.49

Tabla 34. Desglose de características térmicas de forjado al terreno completo comparativo con HULC. Elaboración propia.

Se observa en estos dos cerramientos, medianera y forjado al terreno, la discrepancia con el valor máximo normativo, pero la cercanía entre el valor teórico y el definido por HULC.

Suelo interior	Espesor (m)	Conductividad (W/mK)	R(m2K/W)	Umax (W/m2K)	HULC
Res. Term. superficial ext			0.170		
Plaqueta_o_baldosa_ceramica_REF	0.015	1.000	0.015		
Mortero_cemento_REF	0.02	1.300	0.015		
Forjado_ceramico_REF	0.25	1.670	0.150		
Res. Term. superficial int			0.170		
Rtotal (m2K/W)			0.520		
Utotal (W/m2K)			1.923		2.86

Tabla 35. Desglose de características térmicas de suelo interior completo comparativo con HULC. Elaboración propia.

Techo interior	Espesor (m)	Conductividad (W/mK)	R(m2K/W)	Umax (W/m2K)	HULC
Res. Term. superficial ext			0.100		
Forjado_ceramico_REF	0.25	1.670	0.150		
Mortero_cemento_REF	0.02	1.300	0.015		
Plaqueta_o_baldosa_ceramica_REF	0.015	1.000	0.015		
Res. Term. superficial int			0.100		
Rtotal (m2K/W)			0.380		
Utotal (W/m2K)			2.631		

Tabla 36. Desglose de características térmicas de techo interior completo comparativo con HULC. Elaboración propia.

Se observa que, dado que las resistencias térmicas superficiales son diferentes para un techo interior o para un suelo interior, como se muestra en la Tabla 6 del DA 1 al DB-HE, (Dirección General de Arquitectura Vivienda y Suelo, 2015), se tiene un valor de transmitancia distinto, pese a tratarse del mismo cerramiento visto desde diferentes lados. El valor que define HULC está próximo, siendo superior a lo que se define incluso considerando los valores de resistencia superficial más desfavorables, a los de techo interior.

En la realidad, cada cara de la partición horizontal interior debería tratarse con los valores de resistencia térmica superficial correspondiente. Este punto supone una debilidad del programa.

Tabique	Espesor (m)	Conductividad (W/mK)	R(m2K/W)	Umax (W/m2K)	HULC
Res. Term. superficial ext			0.130		
Enlucido_de_yeso_REF	0.015	0.570	0.026		
Ladrillo_hueco_REF	0.04	0.400	0.100		
Enlucido_de_yeso_REF	0.015	0.57	0.026		
Res. Term. superficial int			0.130		
Rtotal (m2K/W)			0.413		
Utotal (W/m2K)			2.423		3.1

Tabla 37. Desglose de características térmicas de tabique completo comparativo con HULC. Elaboración propia.

En este último tipo de cerramiento se tiene cierta discrepancia, en la misma línea que en la Tabla 35 y Tabla 36, siendo ligeramente superior el valor definido por HULC en comparación con el teórico.

Finalmente, el resumen del tratamiento de la transmisión y radiación en cerramientos opacos y el terreno es la siguiente.

	Transmisión y radiación en cerramientos opacos y el terreno		
	Transmisión unidimensional por conducción	Transmisión bidimensional o tridimensional por conducción, puentes térmicos	Transmisión a través de cerramientos en contacto con el terreno
HULC	Correcto	Correcto	Correcto

Tabla 38. Tabla resumen sobre el tratamiento de HULC a las Condiciones técnicas relativas a Transmisión y radiación en cerramientos opacos y el terreno. Elaboración propia.

4.3.1.6. TRANSMISIÓN Y RADIACIÓN EN HUECOS

En lo relativo a las ventanas, para los valores de transmitancia térmica conjunta del vidrio y marco se remite a los valores establecidos en el *Anexo I. Generación del edificio de referencia*, así como para el factor solar. Se entiende que el programa HULC considera la variación de propiedades ópticas de los huecos con el ángulo de incidencia de la radiación directa del sol, pero no es posible comprobarlo con la versión usuario del software.

Para el caso de transmitancia térmica y absortividad de las puertas, se asumen los valores por defecto establecidos en el apartado anterior *Transmisión y radiación en huecos*.

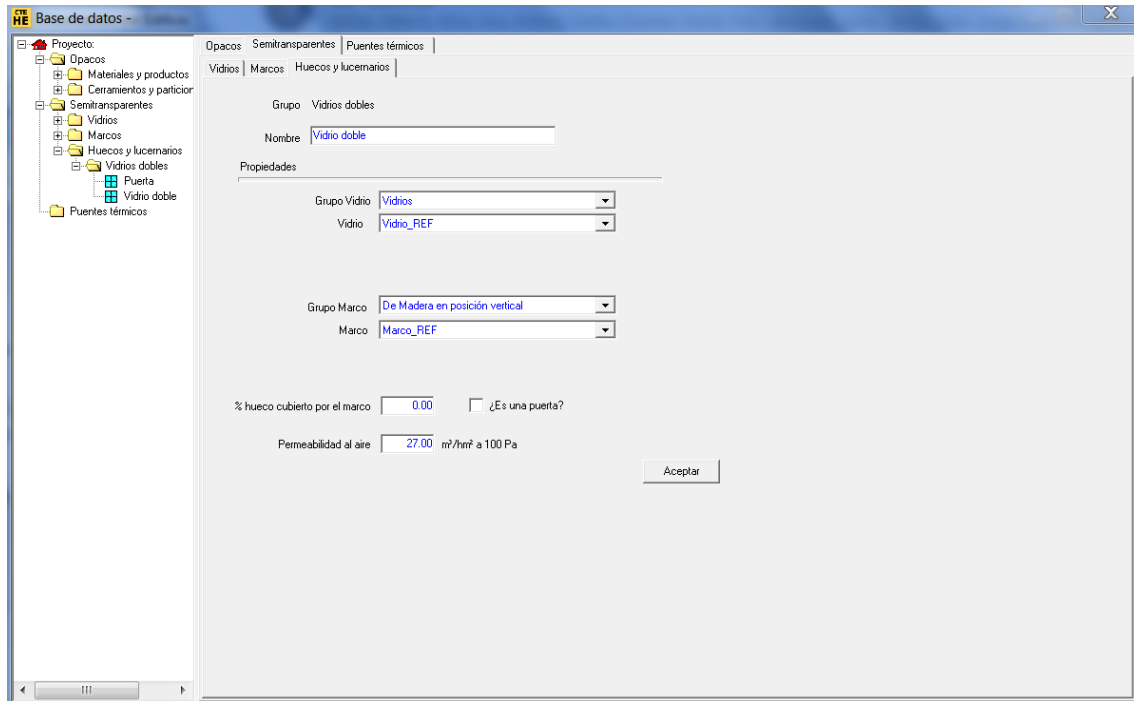


Figura 10. Gestor de cerramientos semitransparentes y base de datos de HULC.

La operatividad a la hora de la definición en el programa es completamente análoga a como era para los cerramientos opacos.

	Transmisión y radiación en huecos			
	Transmisión por conducción en huecos	Absorción de radiación de onda corta en la superficie exterior de huecos semitransparentes y puertas	Modificación de la transmisión por conducción y factor solar en huecos con elementos de oscurecimiento durante el periodo de aplicación de condiciones diferenciadas, en edificios de uso residencial privado	Sombra de protecciones solares
HULC	Correcto	Correcto	Correcto	Correcto

Tabla 39. Tabla resumen sobre el tratamiento de HULC a las Condiciones técnicas relativas a Transmisión y radiación en huecos. Elaboración propia.

4.3.1.7. RENOVACIÓN DE AIRE

En lo relativo a la renovación de aire, el usuario únicamente define la ventilación del edificio residencial y la permeabilidad de las puertas y ventanas. La primera se obtiene de lo expuesto en el *Anexo I. Generación del edificio de referencia*, y las segundas de aquello expuesto en el apartado general asociado, *Renovación de aire*.

El resto de los parámetros, como las renovaciones asociadas a las infiltraciones, el efecto del viento, o la presencia de la campana extractora en la cocina se asume que HULC los define como los expuestos por defecto en el apartado anterior, *Renovación de aire*.

Renovación de aire						
	Escenarios de cálculo	Tasa de renovación de aire en zonas no habitables	Renovación de aire en zonas habitables de edificios con uso residencial privado	Infiltración por opacos	Infiltración por opacos	Infiltración por huecos
				n= 0,67	C	n= 0,67
HULC	Correcto	No aplica	Diferente del valor por defecto y del de DB-HS 3	Correcto	Correcto	Correcto

Tabla 40. Tabla resumen sobre el tratamiento de HULC a las Condiciones técnicas relativas a Renovación de aire. Elaboración propia.

Renovación de aire						
	Infiltración por huecos	Infiltración por aberturas de admisión	Infiltración por aberturas de admisión	Infiltración por aberturas de admisión	Coefficientes de presión	Exposición al viento
	C	n= 0,50	% apertura	C	Cp	%
HULC	Correcto	No aplica	No aplica	No aplica	Correcto	Se asume según geometría

Tabla 41 (cont. Tabla 40). Tabla resumen sobre el tratamiento de HULC a las Condiciones técnicas relativas a Renovación de aire. Elaboración propia.

4.3.1.8. EQUIPOS

En este punto del análisis no se considera equipos concretos, se remite al *Capítulo 5. Aplicación de bomba de calor* para observar la modelización específica de un sistema.

4.3.1.9. RESULTADOS

Tras la definición anterior, los resultados para el *Edificio 2*, vivienda unifamiliar, son los siguientes.

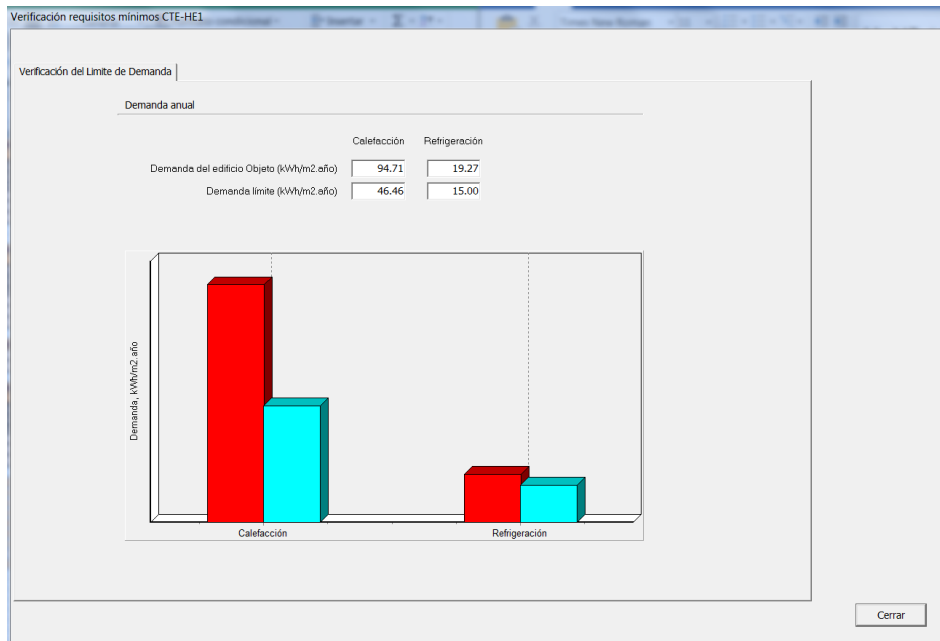


Figura 11. Demanda del edificio de viviendas unifamiliar de referencia modelado como residencial. HULC.

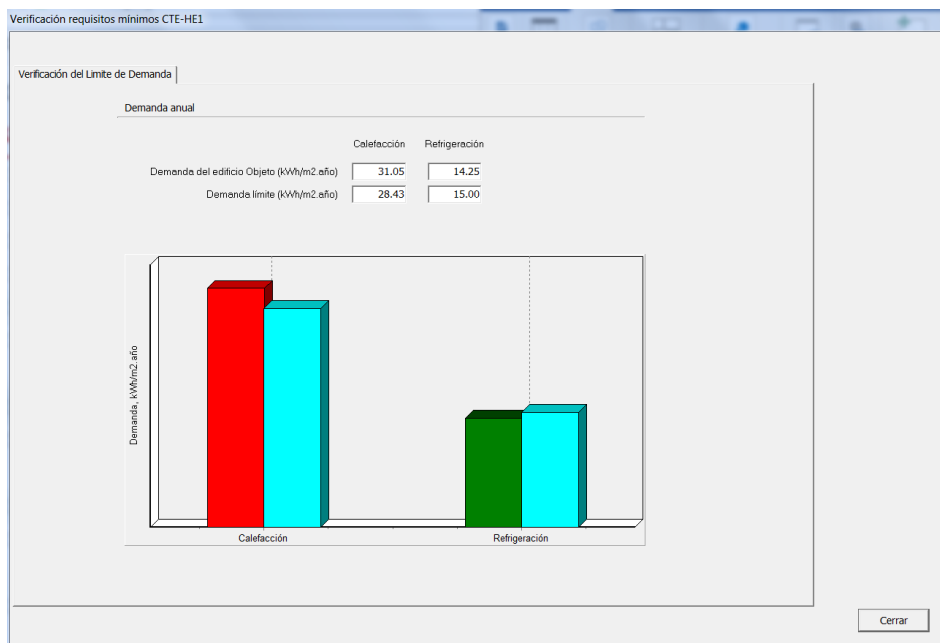


Figura 12. Demanda del edificio de viviendas en bloque de referencia modelado como residencial. HULC.

Se tiene la llamativa particularidad que el edificio residencial modelado, con las condiciones de referencia, no cumple la demanda límite establecida por el DB-HE1. Ni que decir tiene que cumpliría incluso menos las nuevas limitaciones asociadas a la versión, actualmente en borrador, del CTE de 2018.

4.3.2. CE3

El CE3 es un procedimiento simplificado de certificación de eficiencia energética de edificios existentes. Como se mencionó en el apartado *Introducción a la definición*, el objetivo de este trabajo no es la certificación concreta, sino el análisis de los tipos de modelado y simulación energética. Por lo tanto, no supone ningún inconveniente para el desarrollo de este proyecto que el programa CE3 se utilice para edificios existentes, puesto que las viviendas analizadas son ficticias y se limitan a los cálculos de demanda y, posteriormente, de consumo con una bomba de calor aire-aire típica.

4.3.2.1. SOLICITACIONES EXTERIORES

Esta herramienta de certificación hace uso de los ficheros climáticos oficiales ligados a la zona climática, de igual modo que HULC emplea el formato **.bin* y no en **.MET*.

Para el cálculo de las variables meteorológicas derivadas mínimas: temperatura de bulbo húmedo, densidad del aire y entalpía, no se especifica en la normativa el procedimiento estándar ni ha sido posible encontrar el procedimiento seguido por CE3. Para el resumen de las consideraciones técnicas de CE3 en lo referente a solicitudes exteriores, por su similitud en este punto con HULC, se remite a la *Tabla 23*.

El software trata las sombras sobre partes del edificio de un modo excesivamente simplificado. *“Las sombras propias del edificio, las debidas a la presencia de otros edificios u obstáculos adyacentes y las sombras producidas sobre los huecos por obstáculos de fachada tales como voladizos, retranqueos, salientes laterales, etc., se determinan mediante un conjunto de factores de sombra mensuales (uno por hueco). Se desprecia el efecto de las sombras sobre cerramientos opacos”* (IDAE, 2012b).

4.3.2.2. DEFINICIÓN GEOMÉTRICA

La definición geométrica en CE3 se puede llevar a cabo mediante cuatro opciones:

- Definición tipológica. *“El usuario deberá marcar cuál de las ocho tipologías de edificios prediseñadas se ajusta más al edificio objeto de estudio.”* (IDAE, 2012c). Esta opción es la más simplificada y ejemplifica las grandes asunciones que hace el programa en la definición del modelo del edificio.
- Definición por superficies/orientaciones. *“El usuario caracterizará las dimensiones y orientaciones de cada uno de los espacios interiores del edificio”* (IDAE, 2012c). Esta metodología es similar a la denominada como modelo de definición proyectado en el apartado *Modelo del edificio* del *Capítulo 3. Simulación energética*.
- Definición con ayuda de planos DXF. Este tipo de definición es análoga a la que ofrecía HULC.
- Importación de HULC.

De nuevo, la definición cuanta menos información concreta solicite al usuario, más valores toma por defecto y, lógicamente, se está más alejado de tener una representación ajustada a la realidad del edificio que se pretende modelar. Una definición que no solicite los planos al usuario

estará, irremediablemente, tomando unos factores de forma por defecto para el cálculo de la radiación, por ejemplo.

Para el propósito de este trabajo se ha optado por la opción del programa que permite importar la geometría desde HULC. Con el fin de minimizar errores y de conseguir una comparativa lo más ajustada posible a la realidad, se decide por esta vertiente. Sin embargo, se ha realizado también la definición por superficies y orientaciones y los resultados se muestran al final, observando una escasa variación en los cálculos de demandas para el ejemplo de vivienda unifamiliar escogido, no así para el de vivienda en bloque.

4.3.2.3. SOLICITACIONES INTERIORES

En lo relativo a los perfiles de uso y condiciones operacionales, se asume que se tienen fijados los expuestos en el *Anexo I. Generación del edificio de referencia*, dado que su definición explícita en los edificios de uso residencial privado está inhabilitada y son valores de tipo 1. Se muestra, sin embargo, para mayor claridad del lector, el editor para los edificios grandes terciarios, utilizando un ejemplo de la base de datos del programa. Se trata de un editor muy sencillo y gráfico, completamente similar al que permitía el programa HULC, que permite al usuario realizar la asignación a cada día del año de unas determinadas condiciones operacionales.

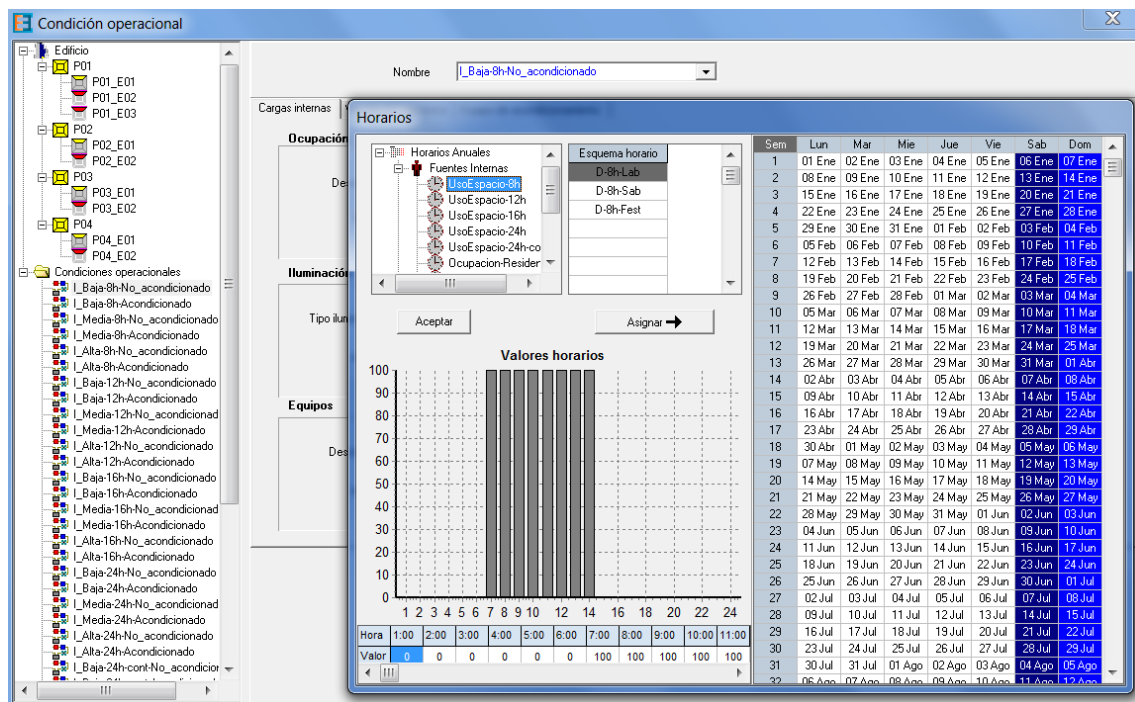


Figura 13. Gestor de condiciones operacionales de CE3.

Se asume que el periodo de aplicación de los elementos de sombra estacional está configurado de acuerdo con cómo se ha expuesto en el apartado general asociado, *Solicitaciones Interiores*, dado que no se muestra al usuario la posibilidad de modificarlo, como sí sucedía con HULC.

Para el resumen de las consideraciones técnicas de CE3 en lo referente a solicitudes interiores, por su similitud en este punto con HULC, se remite a la *Tabla 24*.

4.3.2.4. CONDICIONES DE CONTORNO EN LAS SUPERFICIES INTERIORES Y EXTERIORES

Se asume que todos los valores relativos a las condiciones de contorno en las superficies interiores y exteriores se establecen por defecto, tal y como se indica en el apartado anterior asociado, *Condiciones de contorno en las superficies interiores y exteriores*.

Por otro lado, la consideración de las fracciones radiantes y convectivas de las fuentes internas se asumen fijadas como los valores expuestos por defecto, dado que no hay modo de comprobar. Así como la no consideración del aspecto radiante de dichas fuentes de calor.

Para el resumen de las consideraciones técnicas de CE3 en lo referente a condiciones de contorno en las superficies interiores y exteriores, por su similitud en este punto con HULC, se remite desde la *Tabla 25* hasta la *Tabla 27*.

4.3.2.5. TRANSMISIÓN Y RADIACIÓN EN CERRAMIENTOS OPACOS Y EL TERRENO

CE3 a la hora de caracterizar la envolvente del edificio ofrece tres métodos de definición:

- Por tipología/antigüedad. *“El programa proporciona valores orientativos por defecto para cada elemento constructivo, es decir, las opciones más probables en función del año de construcción del edificio”* (IDAE, 2012c).
- Por usuario (información general). *“El programa solicitará información específica de cada elemento constructivo (transmitancia y espesor) [...]”* (IDAE, 2012c).
- Por usuario (información detallada). *“El usuario podrá introducir, utilizando las bases de datos de elementos constructivos de LIDER/CALENER, la información de cada elemento capa a capa [...]”* (IDAE, 2012c).

Para la definición de los valores constructivos de referencia, se opta por una definición *Por usuario (información general)*, incluyendo para cada cerramiento la transmitancia térmica, el peso³ y la posición del aislante.

Se asumen como válidos los valores de resistencias térmicas superficiales de calor exterior e interior, expuestos en el documento maestro de referencia (Ministerio de Industria Energía y Turismo, 2015b). En relación con este punto, se muestra a continuación los cálculos de las transmitancias térmicas que justifican la inclusión en el programa con el objetivo de reflejar, en la medida de lo posible, lo establecido en el *Anexo I. Generación del edificio de referencia*. Los valores concretos introducidos son los teóricos asociados desde la *Tabla 31* hasta la *Tabla 37*. Para el caso particular de las particiones interiores horizontales se hace uso de un promedio entre la establecida al suelo interior y al techo interior, *Tabla 35* y *Tabla 36* respectivamente.

Se tiene también el problema de la necesidad de definir un aislante en la composición de los cerramientos, aunque el cerramiento en cuestión en realidad no lo tenga, si se define un valor de transmitancia térmica. Por ejemplo, es el caso de las particiones interiores con la composición de referencia.

³ El peso global del cerramiento se calcula obteniendo una densidad promediada con el espesor y, posteriormente, dividiendo por el espesor total.

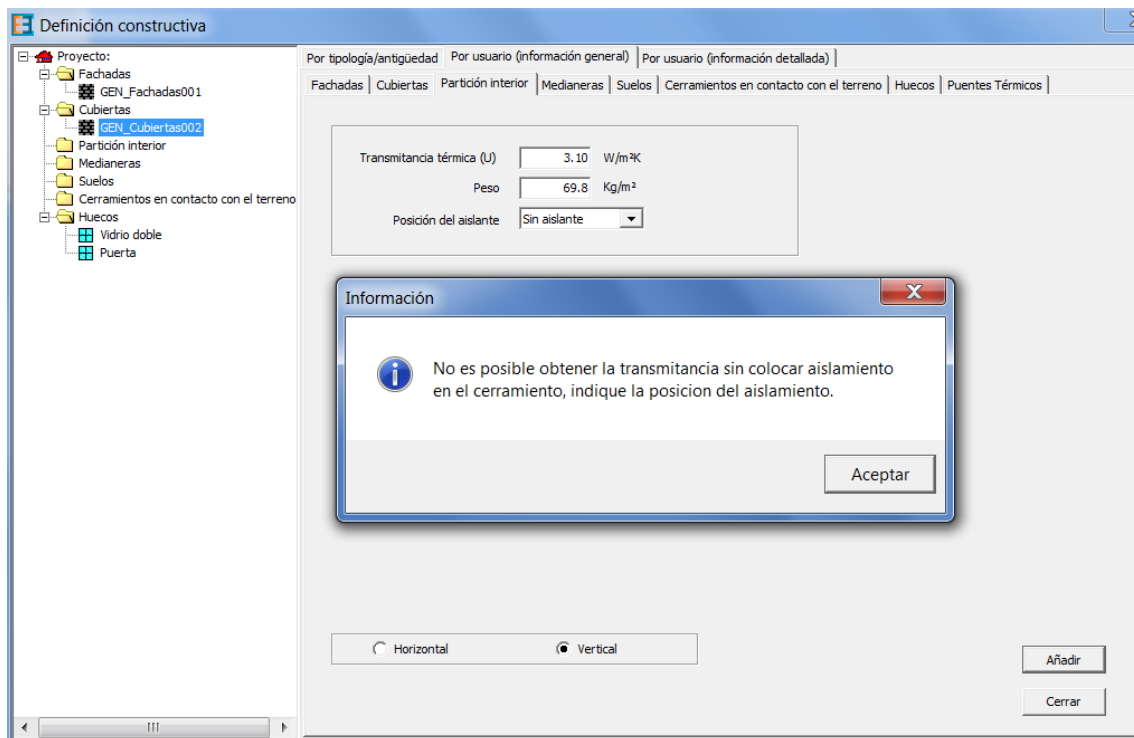


Figura 14. Definición constructiva con mensaje de error de CE3.

Otro posible problema a la hora de realizar la caracterización de los cerramientos mediante información general, para tratar de conseguir unos valores de transmitancia y peso personalizados es, superar el valor por defecto definido internamente por el programa.

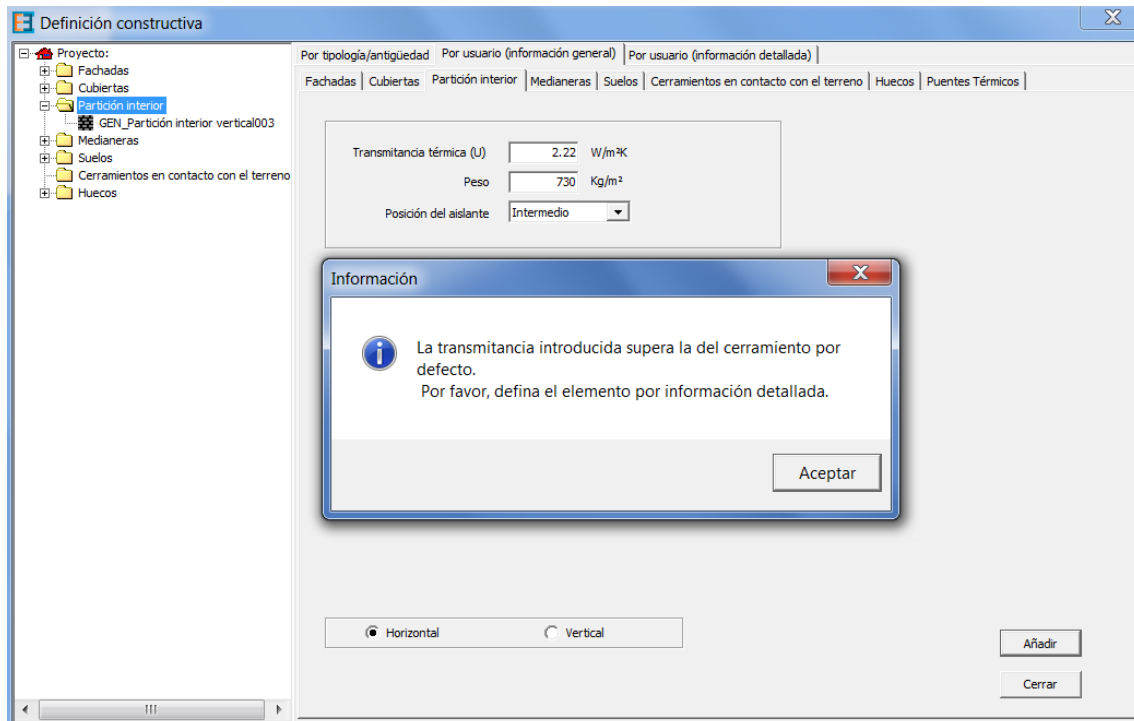


Figura 15. Limitaciones asociadas al cerramiento por defecto en CE3.

Finalmente, en la definición de puentes térmicos el programa únicamente permite introducir una mayoración en la transmitancia global o admitir unos valores por defecto, desconocidos por

el usuario y asumidos como los establecidos por la normativa en el *Anexo I. Generación del edificio de referencia*. Sin embargo, se desconoce el cálculo de las longitudes de cada uno de los puentes térmicos, así como su valor concreto.

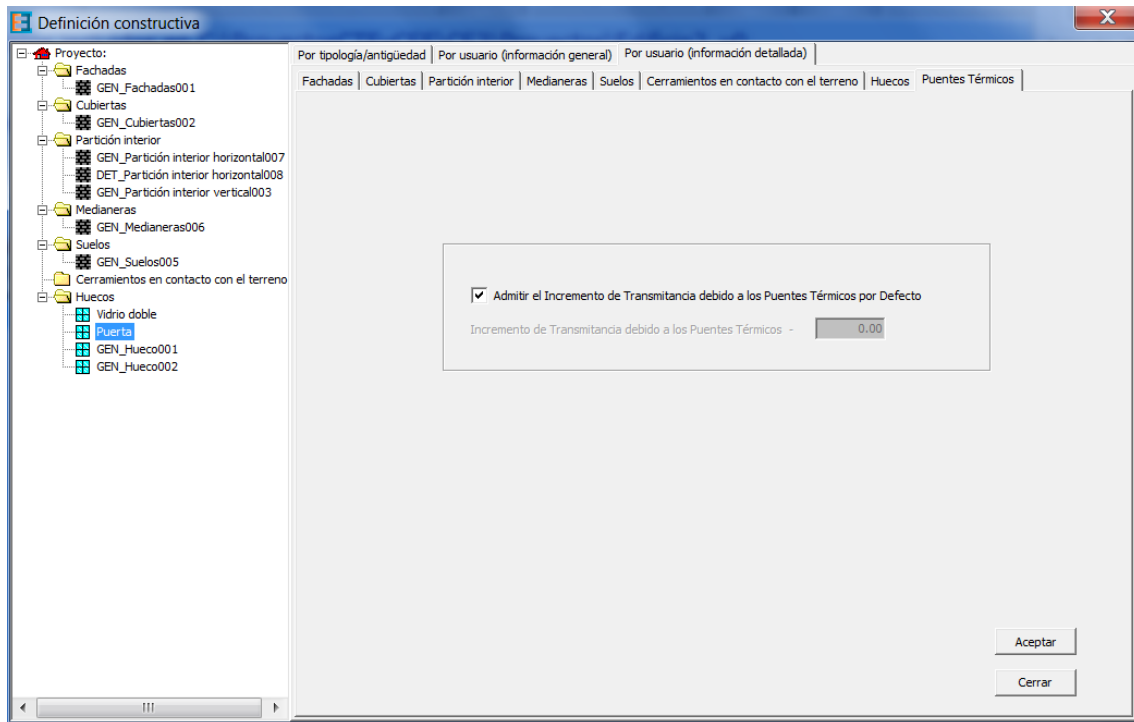


Figura 16. Limitaciones asociadas a la definición de puentes térmicos en CE3.

Según se observa en el manual de fundamentos técnicos del programa, (IDAE, 2012b), “*si el usuario no aporta información sobre la transmitancia térmica lineal de los puentes térmicos, cuando defina el edificio completamente se calculará el U_{opaco} como transmitancia térmica promedio de muros cubiertas y suelos, el área de transferencia y la longitud total de puentes térmicos*”. Posteriormente, el programa obtendrá el factor corrector de puentes térmicos mediante una curva obtenida “*a partir de una regresión basada en 9 edificios unifamiliares y 7 bloques situados en 5 localidades (1 por zona climática de invierno)*”. Para conocimiento del lector, se reproduce a continuación dicha función.

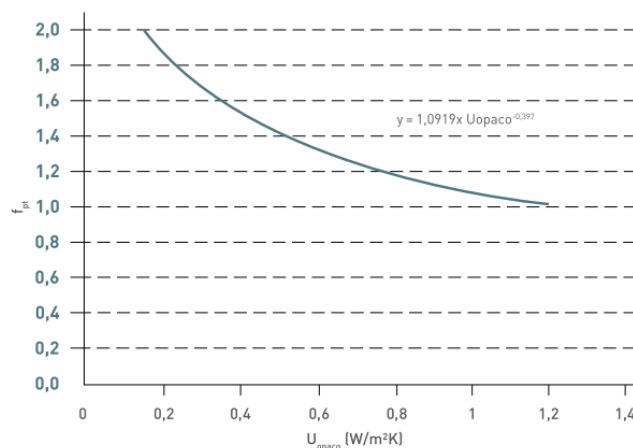


Figura 17. Función para obtención de factor corrector de puentes térmicos en CE3.

Por último, mediante la expresión siguiente, se consigue obtener una transmitancia térmica lineal media de los puentes térmicos del edificio.

$$\psi = \frac{(f_{pt} \cdot UA_{opaco}) - UA_{opaco}}{L}$$

Siendo,

Ψ : transmitancia térmica lineal media de los puentes térmicos del edificio.

f_{pt} : factor corrector de puentes térmicos.

L : longitud de los puentes térmicos.

UA_{opaco} : coeficiente global de transferencia de los cerramientos opacos.

Conviene remarcar que, este modo no es únicamente aproximado por el hecho de obtener la corrección de puentes térmicos en función de la transferencia de los cerramientos opacos, sino que, además, produce una transferencia térmica lineal media.

Por lo tanto, este programa simplifica las condiciones técnicas asociadas a la definición de los puentes térmicos, mientras que ofrece una definición lo suficientemente aceptable sobre la transmisión de calor unidimensional en los cerramientos opacos.

	Transmisión y radiación en cerramientos opacos y el terreno		
	Transmisión unidimensional por conducción	Transmisión bidimensional o tridimensional por conducción, puentes térmicos	Transmisión a través de cerramientos en contacto con el terreno
CE3	Correcto	Simplificado	Correcto

Tabla 42. Tabla resumen sobre el tratamiento de CE3 a las Condiciones técnicas relativas a Transmisión y radiación en cerramientos opacos y el terreno. Elaboración propia.

4.3.2.6. TRANSMISIÓN Y RADIACIÓN EN HUECOS

En lo referente a los cerramientos semitransparentes se tiene operatividad similar a la de los cerramientos opacos; existen las mismas opciones de definición

- Por tipología/antigüedad. Completamente análogo.
- Por usuario (información general). *“En el caso de huecos se introducen valores globales de los parámetros característicos”* (IDAE, 2012c).
- Por usuario (información detallada). *“En el caso de huecos se seleccionan los constituyentes del marco y acristalamiento, permeabilidad, etc.”* (IDAE, 2012c).

Se realiza una definición *Por usuario (información detallada)* para la puerta, para poder definir la absortividad y no el factor solar, dado que es lo que normativamente caracteriza las puertas. Para las ventanas se procede de un modo análogo a lo establecido para los cerramientos opacos. Sería en la pestaña asociada a los huecos donde se definiría los factores de sombra mensuales mencionados en el apartado *Solicitaciones exteriores*.

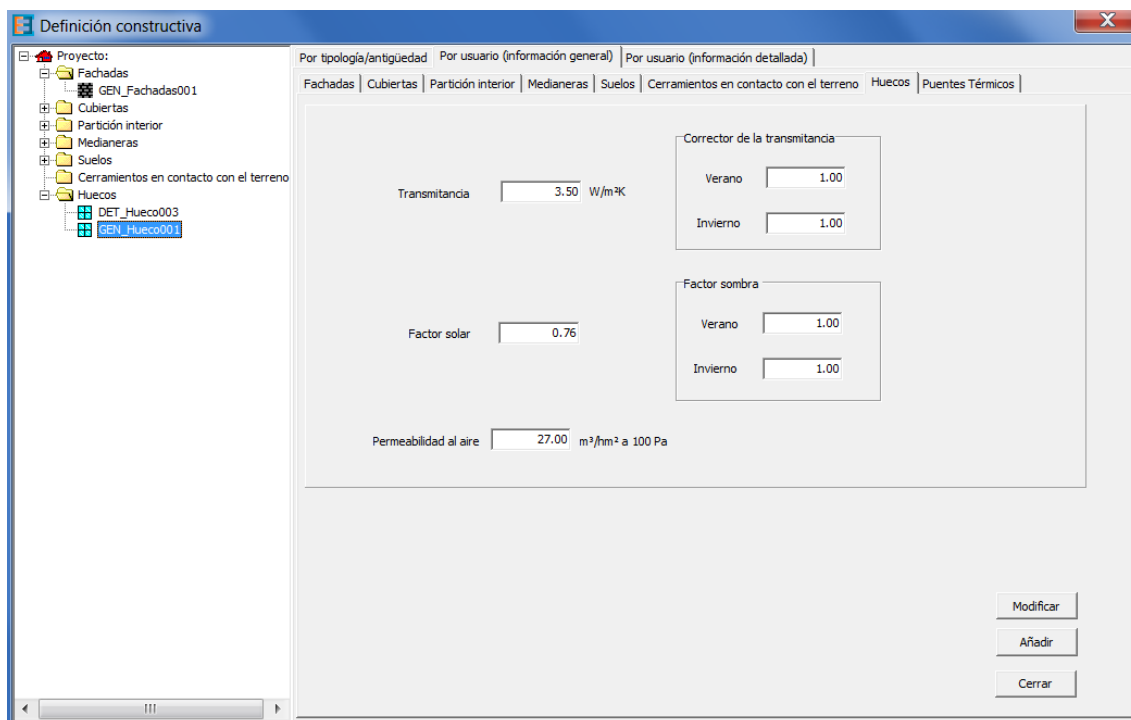


Figura 18. Definición de huecos en CE3.

Como se muestra en la *Figura 18*, se puede añadir una corrección de la transmitancia y un factor de sombra sobre los huecos adicional al normativo expuesto en *Tabla 6*. Este punto podría hacer que el usuario fijara correcciones de transmitancia por efectos de sombra sobre los huecos de la vivienda que no se correspondieran con la realidad, aminorando intencionada y falsamente los valores de demanda energética del edificio.

Transmisión y radiación en huecos				
	Transmisión por conducción en huecos	Absorción de radiación de onda corta en la superficie exterior de huecos semitransparentes y puertas	Modificación de la transmisión por conducción y factor solar en huecos con elementos de oscurecimiento durante el periodo de aplicación de condiciones diferenciadas, en edificios de uso residencial privado	Sombra de protecciones solares
CE3	Correcto	Correcto	Correcto	Riesgo de fraude

Tabla 43. Tabla resumen sobre el tratamiento de CE3 a las Condiciones técnicas relativas a Transmisión y radiación en huecos. Elaboración propia.

4.3.2.7. RENOVACIÓN DE AIRE

En lo relativo a la renovación de aire, el usuario únicamente define la ventilación del edificio residencial y la permeabilidad de las puertas y ventanas. La primera se obtiene de lo expuesto en el *Anexo I. Generación del edificio de referencia*, y las segundas de aquello expuesto en el apartado general asociado, *Renovación de aire*.

El resto de los parámetros, como las renovaciones asociadas a las infiltraciones, el efecto del viento, la presencia de la campana extractora en la cocina se asume que CE3 los define como los expuestos por defecto en el apartado anterior, *Renovación de aire*.

Para el resumen de las consideraciones técnicas de CE3 en lo referente a renovación de aire, por su similitud en este punto con HULC, se remite a la *Tabla 40*. La única diferencia existente podría ser que cuando se asume la exposición del edificio al viento, si se opta por una definición geométrica simplificada, se asuma un 50% a barlovento y un 50% a sotavento por ausencia de más información. Sin embargo, al tratarse de parámetros internos del programa, no se ha podido determinar el funcionamiento.

4.3.2.8. EQUIPOS

En este punto del análisis no se considera equipos concretos, se remite al *Capítulo 5. Aplicación de bomba de calor* para observar la modelización específica de un sistema.

4.3.2.9. RESULTADOS

El programa CE3, de igual modo que HULC, no realiza la generación del edificio de referencia. Sin embargo, introduciendo los parámetros contemplados en los subapartados anteriores, se consigue definir las condiciones de referencia asociadas a la geometría del *Edificio 2*. Los resultados son los siguientes.

	Calefacción	Refrigeración
Demanda de Energía (kWh/m²)·año	76.27	22.45

Figura 19. Demanda del edificio de vivienda unifamiliar de referencia modelado como residencial y definido con planos. CE3.

	Calefacción	Refrigeración
Demanda de Energía (kWh/m²)·año	76.05	24.01

Figura 20. Demanda del edificio de vivienda unifamiliar de referencia modelado como residencial y definido por superficies. CE3.

Conviene destacar que el edificio residencial de vivienda unifamiliar, con las condiciones de referencia, modelado con CE3 tampoco cumpliría la limitación de demanda establecidas por el DB-HE 1 del CTE 2013. Se trata de un hecho en la línea de los resultados conseguidos con HULC.

	Calefacción	Refrigeración
Demanda de Energía (kWh/m²)·año	22.29	24.18

Figura 21. Demanda del edificio de vivienda en bloque de referencia modelado como residencial y definido con planos. CE3.

	Calefacción	Refrigeración
Demanda de Energía (kWh/m²)·año	45.70	40.21

Figura 22. Demanda del edificio de vivienda en bloque de referencia modelado como residencial y definido por superficies. CE3.

4.3.3. CE3X

El CE3X es otro procedimiento simplificado de certificación de eficiencia energética de edificios existentes, recientemente complementado para ser habilitado para edificios de nueva construcción (Grupo de trabajo de documentos reconocidos de certificación de eficiencia energética de Edificios, 2018a).

Este software realiza *“la calificación energética del edificio objeto [...] de forma inmediata y automática por la comparación de los datos introducidos por el usuario con una base de datos que recoge un gran número de experimentos”* (IDAE, 2012a). Por lo tanto, no realiza una simulación propiamente dicha del edificio que se define en el programa; sino que asemeja el edificio introducido, mediante unas variables adimensionales globales y un ajuste estadístico, a uno ya simulado previamente *“con el programa oficial de calificación de viviendas CALENER VYP”*. Este hecho supone que el programa CE3X no analice la **dinámica** del edificio objeto, sino que realiza un ajuste sobre la dinámica que tiene un edificio tipo simulado en las capitales de provincia con un software de referencia.

En este programa, dado que no se realiza una simulación propiamente dicha, no se va a incluir las tablas resumen asociadas a las condiciones técnicas de los procedimientos de calificación energética del documento maestro, dado que la mayoría de sus conceptos no aplican.

4.3.3.1. SOLICITACIONES EXTERIORES

Esta herramienta de certificación no realiza simulación alguna y, por lo tanto, no utiliza directamente ningún fichero climático. Al usuario se le solicita que indique la zona climática donde se encuadra el edificio para poder llevar a cabo los correspondientes ajustes con el edificio de la base de datos del programa que más semejanzas presente.

4.3.3.2. DEFINICIÓN GEOMÉTRICA

La definición de la geometría y de la envolvente térmica van de la mano, dado que se debe explicitar las dimensiones, orientación, patrón de sombras y propiedades térmicas en una misma pestaña. Se asemeja a la definición por superficies y orientaciones del CE3, pero añadiendo una recogida de datos mayor como el patrón de sombras y las propiedades térmicas.

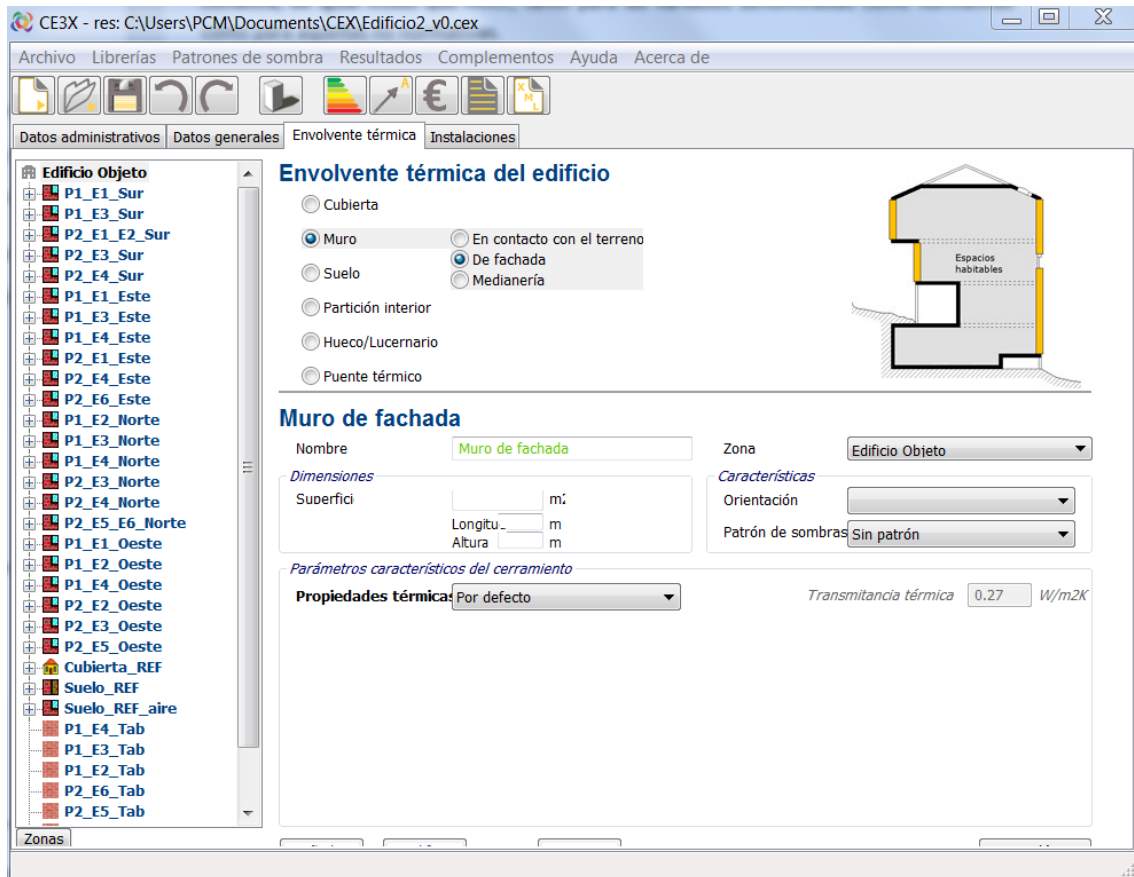


Figura 23. Definición de la envolvente térmica del edificio en CE3X.

4.3.3.3. SOLICITACIONES INTERIORES

En lo referente a los perfiles de uso y condiciones operacionales, dado que el programa no realiza simulación energética alguna, se entiende que no utiliza programaciones horarias. Únicamente se selecciona la tipología de edificio para poder realizar una comparativa ajustada con el conjunto de edificios de la base de datos. Tampoco se utiliza la programación de sombras, ni otros aspectos que caractericen el análisis dinámico del edificio, como las fracciones radiantes y convectivas de las diferentes superficies.

En el caso de analizar un edificio de tipo terciario podría seleccionarse, mediante un desplegable, los diferentes perfiles de uso contemplados por la normativa. Se muestran a continuación.

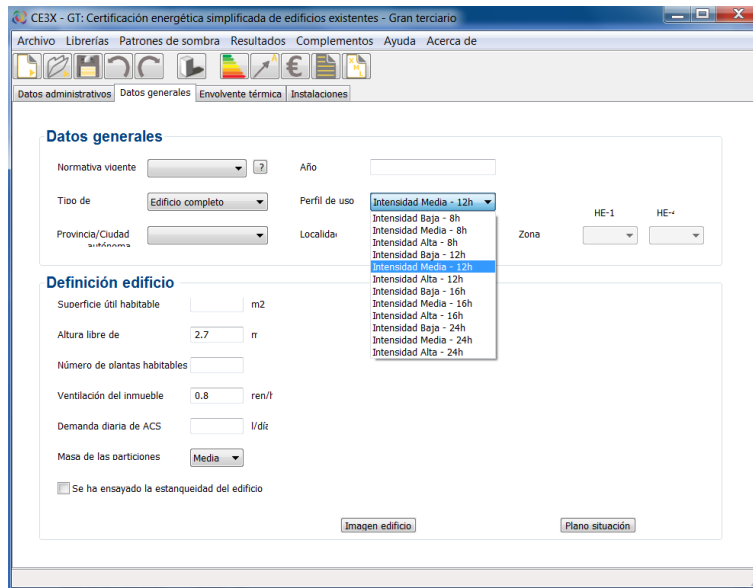


Figura 24. Gestor de condiciones operacionales de CE3X.

4.3.3.4. CONDICIONES DE CONTORNO EN LAS SUPERFICIES INTERIORES Y EXTERIORES

Este punto no aplica por no tener lugar simulación energética de ningún tipo.

4.3.3.5. TRANSMISIÓN Y RADIACIÓN EN CERRAMIENTOS OPACOS Y EL TERRENO

Se incluye los parámetros mostrados en *Anexo 1. Generación del edificio de referencia* de un modo completamente análogo a como se hizo para los cerramientos opacos en el programa CE3, *Transmisión y radiación en cerramientos opacos y el terreno*. De un modo análogo, se promedia los pesos de las diferentes capas para conseguir un valor de masa superficial de los cerramientos definidos.

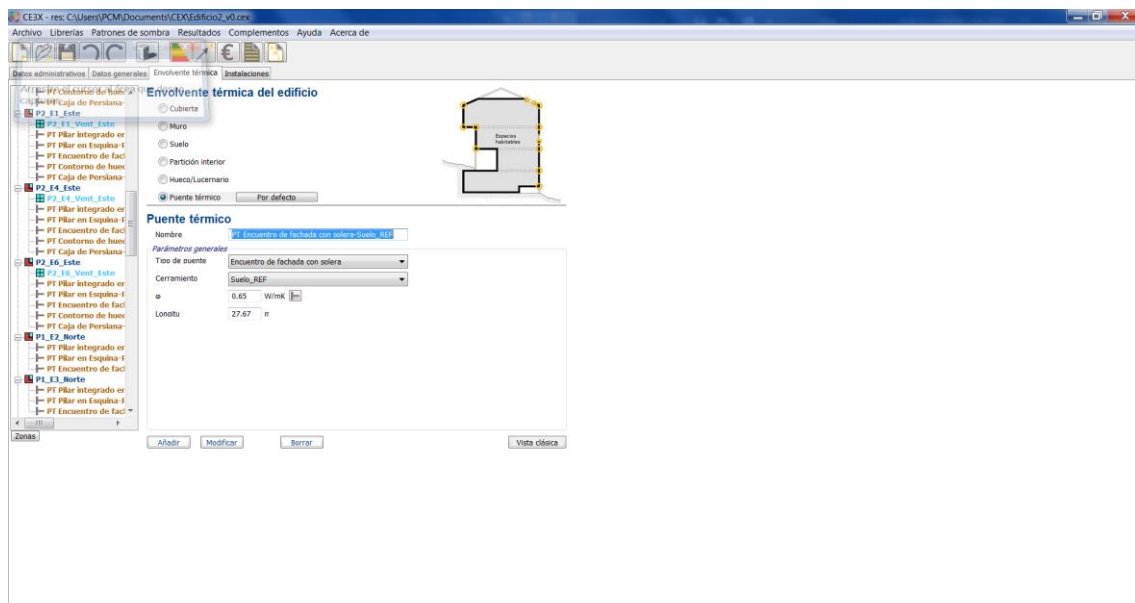


Figura 25. Definición constructiva de CE3X.

Se observa en la generación automática de puentes térmicos de referencia que, al definir superficies aisladas, a cada muro exterior se le asigna un pilar integrado en fachada, el cual se elimina en pro de tener un análisis coherente con los otros programas que no lo utilizarán, y un pilar en esquina. Sucede, además, como en HULC, que el programa es capaz de definir mayor cantidad de puentes térmicos de aquellos que están presentes en la *Tabla 137*. Por lo tanto, en este caso el software ofrece más posibilidades de las que se van a definir en este trabajo, por lo que se ignoran; este es el caso, por ejemplo, de las *cajas de persianas* y del *pilar integrado en fachada*. A continuación, se muestra un desglose de las longitudes y tipologías de puentes térmicos considerados por CE3X en la definición del edificio de referencia.

Puentes térmicos	CE3X (m)
Frente de forjado-fachada	63.08
Forjado de cubierta-fachada	29.7
Forjado de suelo al exterior-fachada	16.03
Esquina saliente	32.4
Esquina entrante	29.7
Hueco ventana	55.8
Pilar	0
Solera en contacto con terreno-pared exterior	27.67

Tabla 44. Desglose de longitudes de puentes térmicos normativos en CE3X. Elaboración propia.

Se ha asumido una distribución similar de esquinas salientes y entrantes.

El programa obtiene, como se ha expuesto en el apartado de introducción al software, *CE3X*, mediante unas variables adimensionalizadas del edificio definido una suerte de equivalencia con un edificio de la base de datos y lo asemeja. Estas correlaciones, a nivel de cerramientos, se calculan del siguiente modo (IDAE, 2012a).

$$\vartheta_{global} = \vartheta_{global,Cerramientos\ opacos} + \vartheta_{global,Huecos} + \vartheta_{global,Puentes\ térmicos}$$

Siendo,

$$\vartheta_{global,Cerramientos\ opacos} = \frac{\sum_i^{Cerramientos\ Opacos} U_i \cdot K \cdot S_i}{area}$$

Con,

U_i : transmitancia térmica del cerramiento opaco [W/(m²·K)].

K : factor de ajuste.

S_i : superficie neta del cerramiento [m²].

$area$: superficie útil habitable del edificio [m²].

$$\vartheta_{global,Huecos} = \frac{\sum_i^{Huecos} [U_{Vidrio,i} \cdot (1 - P_{Marco,i}) + U_{Marco,i} \cdot P_{Marco,i}] \cdot S_i}{area}$$

Con,

$U_{Vidrio,i}$: transmitancia térmica del vidrio [W/(m²·K)].

$U_{Marco,i}$: transmitancia térmica del marco [W/(m²·K)].

$P_{Marco,i}$: superficie de hueco cubierta por marco [%].

S_i : superficie neta del hueco [m²].

area: superficie útil habitable del edificio [m²].

$$\vartheta_{global, Puentes\ térmicos} = \frac{\sum_i^{Puentes\ Térmicos} \Psi_i \cdot L_i}{area}$$

Con,

Ψ_i : transmitancia térmica lineal del puente térmico [W/(m·K)].

L_i : longitud del puente térmico [m].

area: superficie útil habitable del edificio [m²].

Existen otras variables, una ligada a la inercia del edificio, otra al factor solar específico global y una última a las infiltraciones.

$$Inercia_{EspecíficaGlobal} = \frac{\sum_i^{Cerramientos\ Opacos} P_i \cdot S_i}{area}$$

Con,

P_i : peso específico del cerramiento opaco [kg/m²].

S_i : superficie neta del cerramiento [m²].

area: superficie útil habitable del edificio [m²].

$$\vartheta_{EspecíficoHuecos} = \frac{\sum_i^{Huecos} [g_{vidrio,i} \cdot (1 - P_{Marco,i}) + U_{Marco,i} \cdot 0,004 \cdot P_{Marco,i} \cdot \alpha] \cdot F_s \cdot S_i}{area}$$

Con,

$g_{vidrio,i}$: factor solar del vidrio.

$U_{Marco,i}$: transmitancia térmica del marco [W/(m²·K)].

$P_{Marco,i}$: superficie de hueco cubierta por marco [%].

α : absortividad del marco.

F_s : factor de sombra del hueco, según Apéndice E del DB-HE1.

S_i : superficie neta del hueco [m²].

area: superficie útil habitable del edificio [m²].

$$I_{InfiltraciónGlobal} = tasa_{infiltraciones} \cdot h$$

Con,

$tasa_{infiltraciones}$: renovaciones hora de aire exterior.

h : altura media libre entre forjados.

Conviene desatacar que el hecho de asimilar el edificio objeto a otro de una base de datos, aún con la posibilidad de promediar entre varios, es una fuente de error no despreciable. Además, la mera reducción de un edificio, con las posibles complejidades existentes en su geometría, a un solo parámetro global puede suponer una asunción demasiado arriesgada en determinadas geometrías.

4.3.3.6. TRANSMISIÓN Y RADIACIÓN EN HUECOS

Los huecos se definen de un modo completamente análogo a los cerramientos opacos, se define valores de transmitancia térmica y las propiedades ópticas de referencia.

Es importante mencionar que un punto interesante que ofrece el programa es la selección de los tipos de color del marco de los huecos para poder estimar en base a ello el valor de absorptividad para la radiación solar.

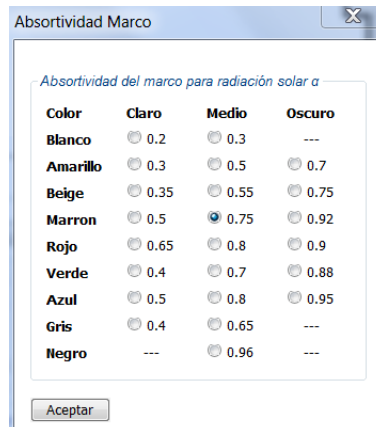


Figura 26. Selector de la absorptividad del marco de huecos en función del color. CE3X.

4.3.3.7. RENOVACIÓN DE AIRE

En lo relativo a la renovación de aire, el usuario únicamente define la ventilación del edificio residencial y la permeabilidad de las puertas y ventanas. La primera se obtiene de lo expuesto en el *Anexo I. Generación del edificio de referencia*, y las segundas de aquello expuesto en el apartado general asociado, *Renovación de aire*.

Sin embargo, el efecto de la velocidad del viento no se tiene contabilizada sobre el edificio definido directamente, al no existir el análisis dinámico. De igual modo que ningún aspecto de infiltración dinámica. Con los parámetros introducidos, el programa llevará a cabo sus reglas de semejanza para obtener un resultado.

4.3.3.8. EQUIPOS

En este punto del análisis no se considera equipos concretos, se remite al *Capítulo 5. Aplicación de bomba de calor* para observar la modelización específica de un sistema.

4.3.3.9. RESULTADOS

El programa CE3X, de igual modo que los otros dos programas contemplados con anterioridad, no realiza la generación del edificio de referencia. Sin embargo, introduciendo los parámetros contemplados en los subapartados anteriores, se consigue definir las condiciones de referencia asociadas a la geometría del *Edificio 2*. Los resultados son los siguientes.

Edificio objeto

Demanda de calefacción 139.9 E
(kWh/m²)

Demanda de refrigeración 9.0 A

Figura 27. Demanda del edificio de vivienda unifamiliar de referencia modelado como residencial. CE3X.

Conviene destacar la gran simplificación de la realidad que se realiza al utilizar este programa. No se realiza ninguna simulación energética de modo directo, sino que se elige la solución preexistente en la base de datos, la cual ha sido simulada con HULC. De este modo, se podría argumentar, que esta opción de certificación añade a sus propias deficiencias, las que pudiera tener HULC.

Para el edificio de la vivienda en bloque, tras haber realizado la definición simplificada asociada, no ha sido posible obtener la calificación energética según CE3X. El mensaje de error es el siguiente.

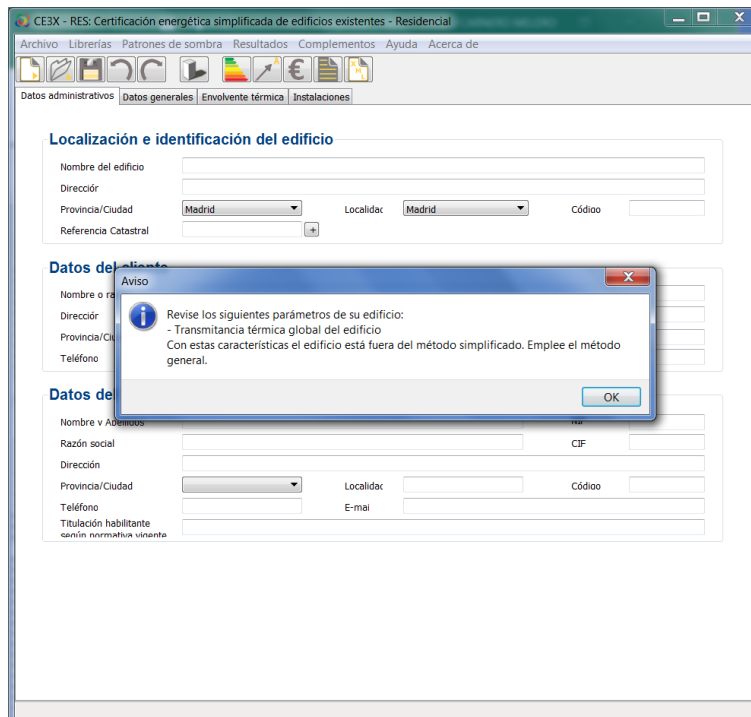


Figura 28. Mensaje de error sobre la imposibilidad de calificar el edificio en bloque. CE3X.

4.3.4. CERMA

El programa CERMA es de aplicación para la calificación de la eficiencia energética de edificios residenciales de nueva construcción y existentes, tanto unifamiliares como en bloque. Como se expone en el manual de usuario asociado, “CERMA es un Documento Reconocido para la certificación de eficiencia energética, según lo dispuesto en el artículo 3 del Real Decreto 47/2007, de 19 de enero, por el que se aprueba el Procedimiento Básico para la certificación energética de edificios residenciales de nueva construcción” (ATECYR; IVE, 2013).

4.3.4.1. SOLICITACIONES EXTERIORES

Esta herramienta de certificación hace uso de unos ficheros climáticos en formato *.xml, no en el formato *.MET, como los oficiales. Existen diferencias que se discuten en detalle en el Anexo II. Ficheros Climáticos.

CERMA presenta un espacio específico para la definición de las sombras del entorno del edificio, permitiendo una definición de las que afectan al edificio más detallada que los programas CE3 y CE3X. No se ha utilizado para la realización de este trabajo, al considerarse los edificios como exentos.

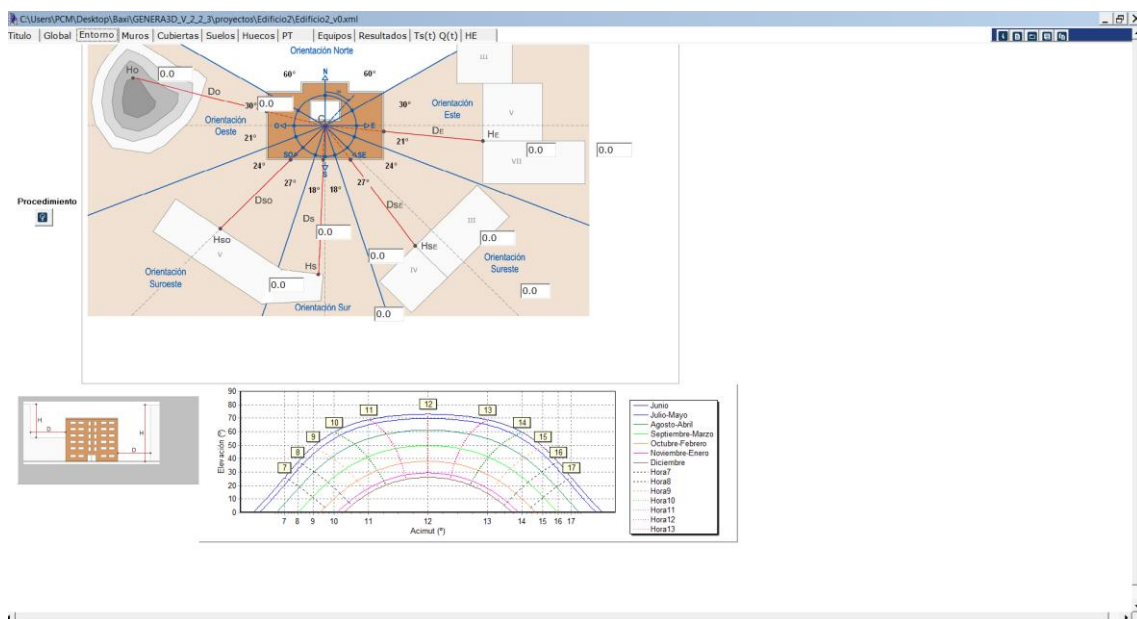


Figura 29. Gestor de sombras del entorno de CERMA.

Se observa que con unos pocos parámetros posicionales quedaría contemplado el efecto de las sombras, este aspecto es muy interesante por su impacto en los resultados y la sencillez a la hora de su definición.

	Solicitaciones exteriores		
	Caracterización climática	Datos climáticos normativos	Otros datos climáticos
CERMA	Utiliza el concepto de zona climática	Contempla directamente dos de tres datos climáticos determinantes	Contempla directamente tres de seis datos climáticos no determinantes

Tabla 45. Tabla resumen sobre el tratamiento de CERMA a las Condiciones técnicas relativas a Solicitaciones Exteriores. Elaboración propia.

Para el cálculo de las variables meteorológicas derivadas mínimas: temperatura de bulbo húmedo, densidad del aire y entalpía, no se especifica en la normativa el procedimiento estándar. Sin embargo, se observa en la comparativa de los ficheros climáticos presentes en el *Anexo II. Ficheros Climáticos* que el valor de temperatura húmeda calculada es muy bajo en comparación con los otros ficheros utilizados.

4.3.4.2. DEFINICIÓN GEOMÉTRICA

La definición de la geometría y de la envolvente térmica van de la mano, de un modo similar a la opción por superficies y orientaciones de CE3. Se debe explicitar las dimensiones, orientación, y propiedades térmicas en una misma pestaña.

4.3.4.3. SOLICITACIONES INTERIORES

Este apartado está inhabilitado para la definición de edificios de uso residencial privado y, como CERMA es únicamente válido para edificios de uso residencial, no es posible modificar las condiciones operacionales. Se asume que se tienen fijados los expuestos en el *Anexo I. Generación del edificio de referencia*, dado que su definición explícita en los edificios de uso residencial privado está inhabilitada y son valores de tipo 1.

Es conocido, que el periodo de aplicación de los elementos de sombra estacional está configurado de acuerdo con cómo se ha expuesto en el apartado general asociado, *Solicitaciones Interiores*.

Para el resumen de las consideraciones técnicas de CERMA en lo referente a solicitudes interiores, por su similitud en este punto con HULC, se remite a la *Tabla 24*.

4.3.4.4. CONDICIONES DE CONTORNO EN LAS SUPERFICIES INTERIORES Y EXTERIORES

Se asume que todos los valores relativos a las condiciones de contorno en las superficies interiores y exteriores se establecen por defecto, tal y como se indica en el apartado anterior asociado, *Condiciones de contorno en las superficies interiores y exteriores*.

Frente a las propuestas de valores por defecto en el documento maestro de la calificación energética de asumir 0,4 de fracción convectiva para los ocupantes, CERMA considera un 0,6. La fracción convectiva asociada a las luminarias se mantiene en el valor por defecto, no así la de los equipos, dado que se propone un 0,3 y el programa utiliza un factor de 1.

El mobiliario considerado por la normativa se modela como “una placa de un determinado material, y un cierto espesor, se encuentra ‘suspendido’ en el aire dentro la habitación [...]. Las características de los valores tomados en este procedimiento es una solución intermedia entre muebles ‘ligeros’ y ‘pesados’ [...]” (Lamas, 2011). Las propiedades son las siguientes.

U	Espesor (m)	k (W/mK)	ρ (kg/m ³)	Cp (J/kgK)	hci (W/m ² K)
1.66	0.0065	0.19	960	1255	7.69

Tabla 46. Cerramiento equivalente al mobiliario en CERMA. Elaboración propia.

En relación con las directrices del documento maestro sobre procedimientos de calificación energética, se tiene lo siguiente.

Condiciones de contorno en las superficies interiores y exteriores					
	Radiación solar reflejada por las superficies adyacentes	Absorción de radiación solar por el terreno	Absorción de radiación solar incidente en las superficies opacas exteriores	Intercambio radiante de onda larga entre las superficies exteriores del edificio y su entorno	Intercambio radiante de onda larga en las superficies exteriores del edificio y su entorno
	$\rho=0,2$	$\alpha=0,8$	$\alpha=0,6$	$\epsilon=1$	$\epsilon=0,9$
CERMA	Correcto	Correcto	Correcto	Correcto	Correcto

Tabla 47. Tabla resumen sobre el tratamiento de CERMA a las Condiciones técnicas relativas a Condiciones de contorno en las superficies interiores y exteriores. Elaboración propia.

Condiciones de contorno en las superficies interiores y exteriores					
	Transmisión de calor por convección en superficies exteriores del edificio	Tratamiento mixto del intercambio convectivo y radiante de onda larga en superficies exteriores del edificio	Radiación solar absorbida por las superficies interiores	Radiación solar absorbida por las superficies interiores	Radiación absorbida por las superficies interiores
	$h=20$ W/(m ² K)	Valores según tabla 1 del DA DB-HE/1	$\alpha=0,6$	50%	0,3; 0,3; 0,07; y 0,33 respectivamente (ponderado por área)
CERMA	Correcto	Correcto	Correcto	Correcto	Correcto

Tabla 48 (cont. Tabla 47). Tabla resumen sobre el tratamiento de CERMA a las Condiciones técnicas relativas a Condiciones de contorno en las superficies interiores y exteriores. Elaboración propia.

Condiciones de contorno en las superficies interiores y exteriores						
	Absorción de radiación procedente de fuentes internas	Absorción de radiación procedente de fuentes internas	Intercambio radiante de onda larga entre las superficies interiores	Transmisión de calor por convección en superficies interiores	Tratamiento mixto del intercambio convectivo y radiante de onda larga en superficies interiores del edificio	Peso y calor específico del mobiliario en el interior del edificio de uso residencial privado
	Ocupantes: 0,6 Iluminación: 0,8 Equipos: 0,7	Proporcional a las áreas	$\epsilon=0,9$	$h=2$ W/(m ² K)	Valores según tabla 1 del DA DB-HE/1	Calor específico: 1200 J/(kgK) Peso: 45 kg/m ²
CERMA	Ocupantes: 0,4 Iluminación: 0,8 Equipos: 0,7	Correcto	Correcto	Correcto	-	Calor específico: 1225 J/(kgK) Peso: 6,25 kg/m ²

Tabla 49 (cont. Tabla 47). Tabla resumen sobre el tratamiento de CERMA a las Condiciones técnicas relativas a Condiciones de contorno en las superficies interiores y exteriores. Elaboración propia.

Existirán unos factores de forma por defecto para los cálculos de la radiación, habida cuenta de la definición geométrica simplificada, de igual modo que con el resto de los programas que trabajen de este modo.

4.3.4.5. TRANSMISIÓN Y RADIACIÓN EN CERRAMIENTOS OPACOS Y EL TERRENO

Se incluye los parámetros mostrados en *Anexo I. Generación del edificio de referencia.*

Los valores por defecto, considerados por CERMA para los coeficientes de película convectivo-radiante, son 25,00 y 7,69 W/(m²·K) para exterior e interior, respectivamente cuando se trata de muros exteriores; coincidentes con el inverso de las resistencias térmicas superficiales normativas, 0,04 y 0,13 (m²·K)/W respectivamente. Para particiones interiores se define el coeficiente de película convectivo-radiante interior anterior, coincidiendo también con la resistencia térmica superficial por defecto.

Cuando se trata de cubiertas, el coeficiente de película interior aumenta a un valor de 10 W/(m²·K), la inversa de la resistencia térmica superficial asociada.

Cuando se trata de forjados interiores, sin embargo, CERMA selecciona los coeficientes de película asociados a las resistencias térmicas superficiales asociadas a los techos interiores a ambas caras del cerramiento. Tomando en cualquier caso una resistencia térmica superficial equivalente de 0,1 (m²·K)/W y nunca 0,17 (m²·K)/W.

Cuando se trata de suelos, pasa a 5,8 W/(m²·K) el valor considerado como resistencia térmica superficial equivalente.

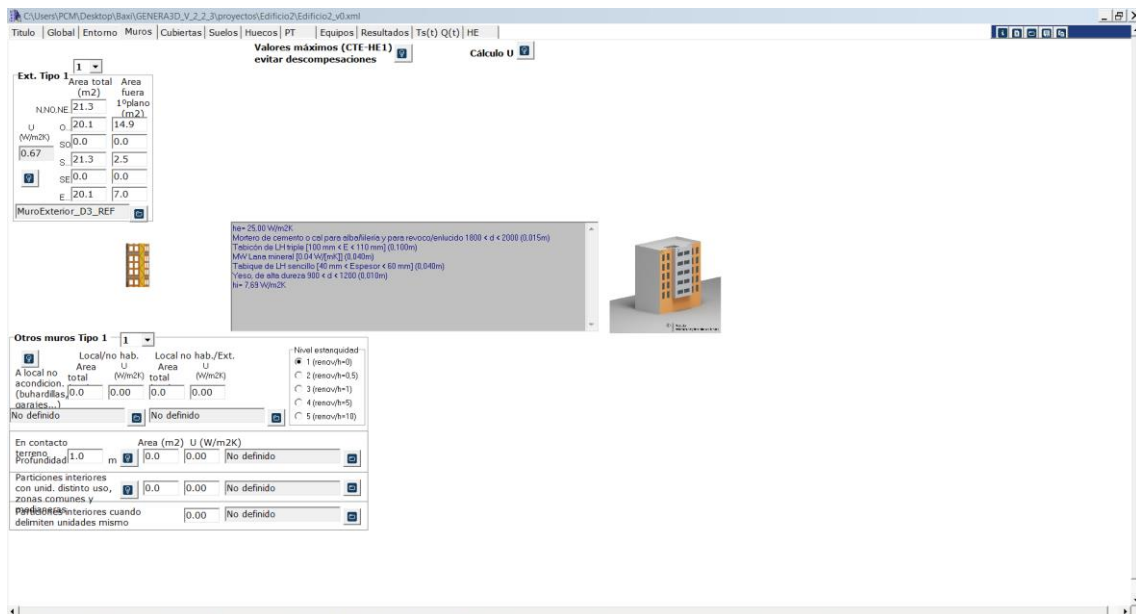


Figura 30. Definición constructiva de CERMA.

Se ha elegido aquellos materiales asociados a los expuestos en la normativa de referencia, modificando su espesor para que se ajustaran a los valores de resistencia térmica. Por lo tanto, los valores de transmitancia térmica finales que se obtienen para cada uno de los cerramientos a definir para el edificio con las condiciones de referencia son los siguientes.

Utotal (W/m2K)						
Cubierta	Muro Exterior	Medianera	Forjado al terreno	Suelo Interior	Techo interior	Tabique
CERMA	0.66	0.97	0.49	-	2.63	2.43

Tabla 50. Desglose de transmitancias térmicas de cerramientos en CERMA. Elaboración propia.

CERMA, a la hora de determinar la transmisión de calor a través de un cerramiento, utiliza el método de los factores de respuesta los cuales vienen a caracterizar los flujos de calor en cada cara del muro cuando se producen excitaciones térmicas tanto en el ambiente interior como en el exterior. Para una descripción detallada de la metodología asociada a CERMA, se remite a la bibliografía específica (Lamas, 2011). El programa, para agilizar los cálculos, no define para cada paso de tiempo dichos factores de respuesta, sino que tiene calculados para cada tipo de cerramiento y orientación unos valores tipo en función del peso del muro. De este modo se dota al procedimiento de cálculo de una mayor rapidez a la hora de cuantificar la inercia térmica de la vivienda, incurriendo en una simplificación del modelo de cálculo. Estos factores de respuesta precalculados se encuentran en el fichero climático en formato *.xml utilizado por el programa.

Para los puentes térmicos, el programa calcula las longitudes en función de la definición geométrica anterior, para mayor detalle sobre el modelado de los puentes térmicos se remite a (Lamas, 2011).

Puentes térmicos	CERMA (m)
Frente de forjado-fachada	24
Forjado de cubierta-fachada	30
Forjado de suelo al exterior-fachada	11
Esquina saliente	10
Esquina entrante	10
Hueco ventana	62
Pilar	28
Solera en contacto con terreno-pared exterior	33

Tabla 51. Desglose de longitudes de puentes térmicos normativos en CERMA. Elaboración propia.

Se ha asumido una distribución equitativa de esquinas salientes y entrantes.

	Transmisión y radiación en cerramientos opacos y el terreno		
	Transmisión unidimensional por conducción	Transmisión bidimensional o tridimensional por conducción, puentes térmicos	Transmisión a través de cerramientos en contacto con el terreno
CERMA	Correcto	Simplificado	Correcto

Tabla 52. Tabla resumen sobre el tratamiento de CERMA a las Condiciones técnicas relativas a Transmisión y radiación en cerramientos opacos y el terreno. Elaboración propia.

4.3.4.6. TRANSMISIÓN Y RADIACIÓN EN HUECOS

Para los huecos se ha trasladado la información existente en el *Anexo I. Generación del edificio de referencia*. Se contempla en el modelo la transferencia de calor por conducción de la ventana, así como por radiación, la cual se ve fuertemente afectada por las sombras definidas.

Transmisión y radiación en huecos				
	Transmisión por conducción en huecos	Absorción de radiación de onda corta en la superficie exterior de huecos semitransparentes y puertas	Modificación de la transmisión por conducción y factor solar en huecos con elementos de oscurecimiento durante el periodo de aplicación de condiciones diferenciadas, en edificios de uso residencial privado	Sombra de protecciones solares
CERMA	Correcto	Correcto	Correcto	Correcto

Tabla 53. Tabla resumen sobre el tratamiento de CERMA a las Condiciones técnicas relativas a Transmisión y radiación en huecos. Elaboración propia.

4.3.4.7. RENOVACIÓN DE AIRE

En lo relativo a la renovación de aire, el usuario únicamente define la ventilación del edificio residencial y la permeabilidad de las puertas y ventanas. La primera se obtiene de lo expuesto en el *Anexo I. Generación del edificio de referencia*, y las segundas de aquello expuesto en el apartado general asociado, *Renovación de aire*.

Para las infiltraciones, además de las asociadas a los huecos, CERMA considera el efecto de las infiltraciones estructurales, por la caja de persianas y por las rejillas de ventilación. Para las estructurales, se asume que a 4 Pa hay un cierto ratio para viviendas unifamiliares y otro para viviendas en bloque. Para las cajas de persianas se tiene una infiltración normalizada a 10 Pa y para las rejillas, se supone que se suple todo el caudal de ventilación necesario con una diferencia de 20 Pa. No se hace mención expresa ni en el manual ni en la bibliografía específica de la campa extractora de la cocina, por lo tanto, se asume que no se considera explícitamente.

Renovación de aire						
	Escenarios de cálculo	Tasa de renovación de aire en zonas no habitables	Renovación de aire en zonas habitables de edificios con uso residencial privado	Infiltración por opacos	Infiltración por opacos	Infiltración por huecos
				n= 0,67	C	n= 0,67
CERMA	Correcto	No aplica	Diferente del valor por defecto y del de DB-HS 3	Correcto	Correcto	Correcto

Tabla 54. Tabla resumen sobre el tratamiento de CERMA a las Condiciones técnicas relativas a Renovación de aire. Elaboración propia.

Renovación de aire						
	Infiltración por huecos	Infiltración por aberturas de admisión	Infiltración por aberturas de admisión	Infiltración por aberturas de admisión	Coefficientes de presión	Exposición al viento
	C	n= 0,50	% apertura	C	Cp	%
CERMA	Correcto	No aplica	No aplica	No aplica	Correcto	50% barlovento; 50% sotavento

Tabla 55 (cont. Tabla 54). Tabla resumen sobre el tratamiento de CERMA a las Condiciones técnicas relativas a Renovación de aire. Elaboración propia.

4.3.4.8. EQUIPOS

En este punto del análisis no se considera equipos concretos, se remite al *Capítulo 5. Aplicación de bomba de calor* para observar la modelización específica de un sistema.

4.3.4.9. RESULTADOS

CERMA, con la definición anterior, arroja los siguientes resultados para la demanda sensible de calefacción y refrigeración.

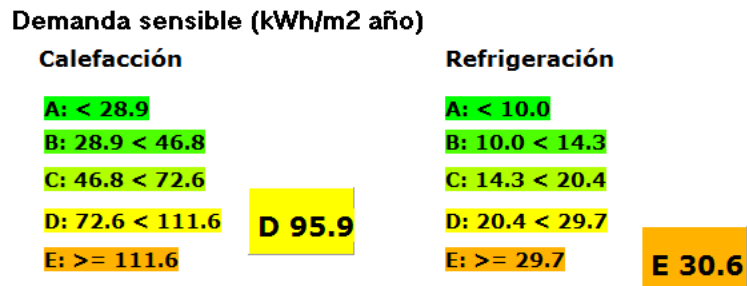


Figura 31. Demanda del edificio de vivienda unifamiliar de referencia modelado como residencial. CERMA.

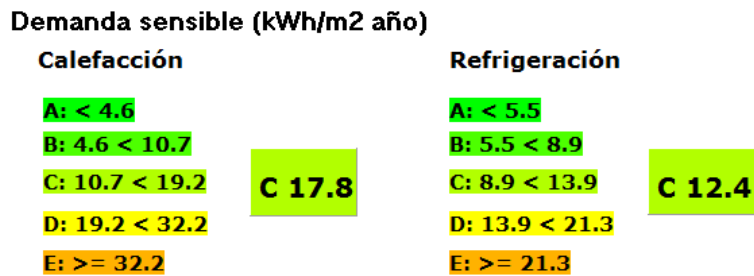


Figura 32. Demanda del edificio de vivienda en bloque de referencia modelado como residencial. CERMA.

CERMA, en el apartado de los resultados, permite observar la contribución a la demanda energética de cada uno de los aspectos que intervienen. Este punto es de interés general para cualquier programa de simulación energética, pero sobre todo a la hora de idear medidas de mejora. Se dota al usuario o proyectista con mayor y más detallada información sobre la situación del edificio en un momento dado, permitiendo priorizar inversiones y dirigirlas a los puntos más débiles.

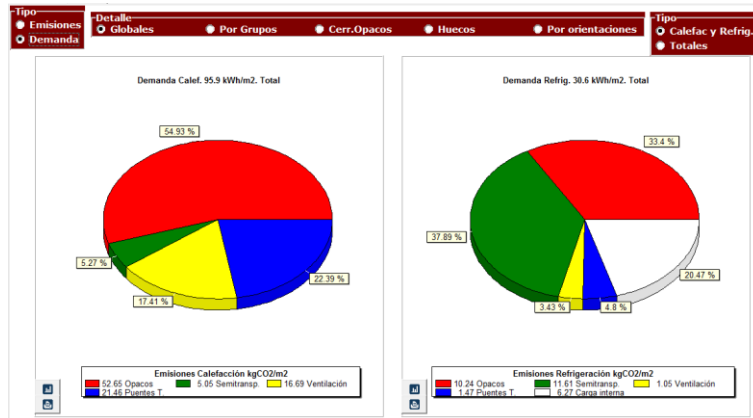


Figura 33. Demanda detallada del edificio de vivienda unifamiliar de referencia modelado como residencial. CERMA.

Se ofrece, además, valores de temperatura interior y demanda térmica sensible horaria, en visor 2D y 3D.

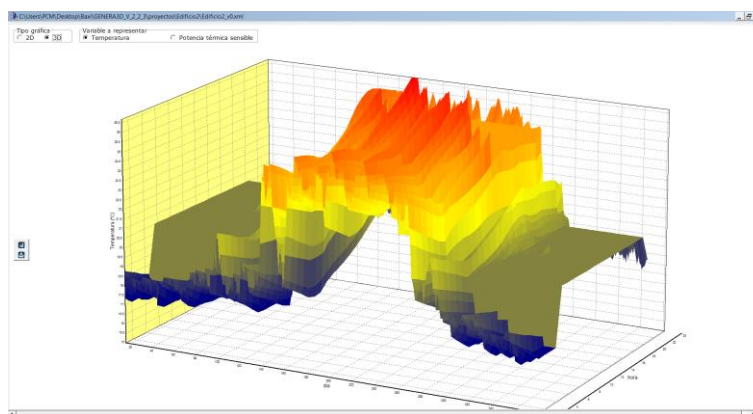


Figura 34. Temperatura y demanda horarias detallada del edificio de vivienda unifamiliar de referencia modelado como residencial. CERMA.

4.3.5. SG-SAVE

Como se mencionó en el apartado *Introducción*, el programa SG-SAVE a partir del 5 de julio de 2018, este programa ya tiene el rango de Documento Reconocido. Es uno de los programas que, junto con CYPETHERM HE Plus, sienta las bases para una certificación energética utilizando EnergyPlus como motor de cálculo. Se trata de un software propiedad de la multinacional Saint Gobain y fue presentado oficialmente en el IV Congreso de Edificios de Energía Casi Nula en 2017 (Congreso et al., 2017).

El programa utiliza como base la aplicación SketchUp, con un plug-in específico de SG-SAVE. Siguiendo unas reglas de definición propias, y haciendo uso del complemento de OpenStudio se consigue definir una simulación que es operable por el motor de cálculo de EnergyPlus.

El programa permite definir cualquier tipo de edificio en el entorno de OpenStudio, sin embargo, SG-SAVE ofrece una simulación directa de un edificio que cumple estrictamente el DB-HE 1 y otro que simula el edificio de referencia, pese a que este último no es un requerimiento de la normativa vigente. El caso de análisis es la simulación directa del edificio de referencia.

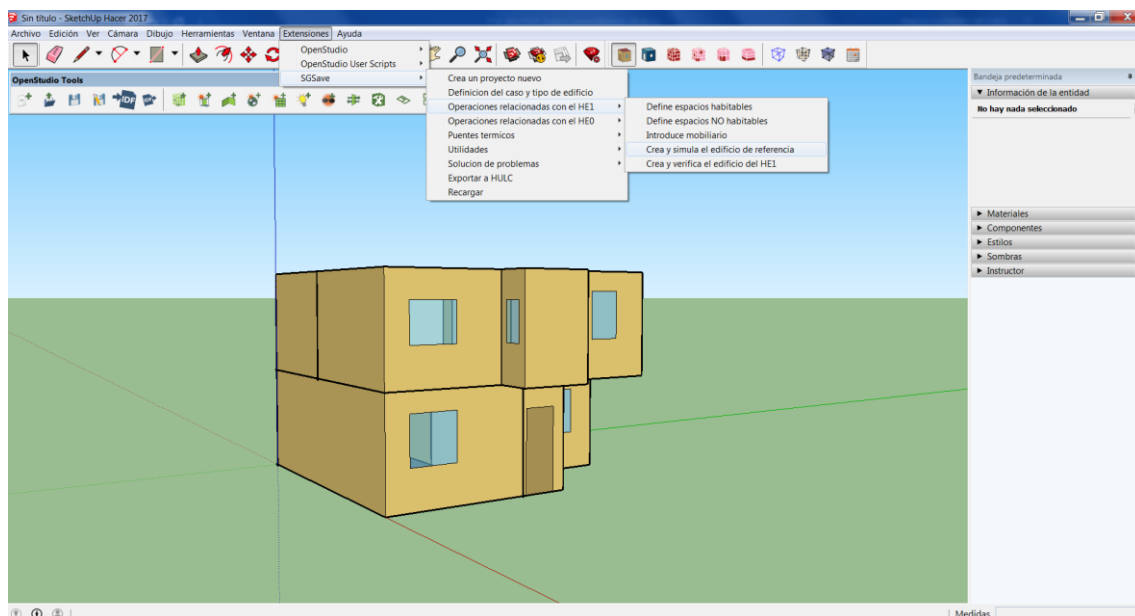


Figura 35. Definición y simulación directa del edificio de referencia. SG-SAVE.

SG-SAVE utiliza un paso de tiempo de 15', por defecto.

4.3.5.1. SOLICITACIONES EXTERIORES

Al trabajar con EnergyPlus como programa de cálculo, los ficheros climáticos se tienen en formato *.epw, conteniendo todas las variables climáticas normativas y no normativas. En la documentación del programa se tiene lo siguiente, *“En la página www.codigotecnico.org se publican los datos climáticos para uso en las verificaciones reglamentarias del CTE y la certificación energética. Estos datos están en formato .MET, que recoge el valor hora a hora de diversos parámetros climáticos para un año tipo. Los datos publicados deben convertirse de hora solar a hora local, lo que implica la interpolación de datos y la incorporación de parámetros distintos a los básicos que son requeridos por los programas de simulación. Esta colección incluye archivos en formato EPW generados transformando los archivos MET originales.”*

En esta conversión existen considerables diferencias en cuanto a los valores climáticos considerados; de hecho, no coincide ningún valor de los contenidos. Además, el fichero climático utilizado por SG-SAVE contiene muchas otras variables, incluidas aquellas variables ligadas al nivel mínimo de modelización: “temperatura de bulbo húmedo, densidad del aire y entalpía” (IDAE, 2009b). Para un análisis más exhaustivo sobre los ficheros climáticos utilizados por cada uno de los programas del análisis, se remite al *Anexo II. Ficheros Climáticos*.

Desde el propio entorno de trabajo de SketchUp se selecciona la zona climática asociada al edificio.

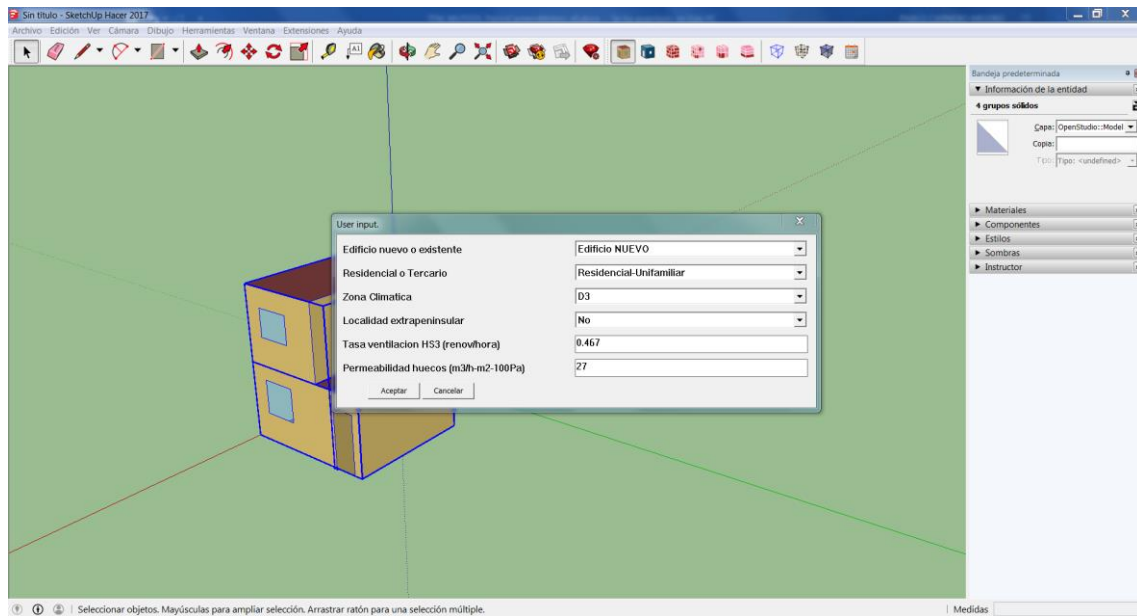


Figura 36. Definición del caso de la vivienda en SketchUp.

	Solicitaciones exteriores		
	Caracterización climática	Datos climáticos normativos	Otros datos climáticos
SG-SAVE	Utiliza el concepto de zona climática	Contempla directamente dos de tres datos climáticos determinantes	Contempla directamente tres de seis datos climáticos no determinantes

Tabla 56. Tabla resumen sobre el tratamiento de SG-SAVE a las Condiciones técnicas relativas a Solicitaciones exteriores. Elaboración propia.

4.3.5.2. DEFINICIÓN GEOMÉTRICA

La definición de la geometría está pensada para realizarse mediante el programa SketchUp. Se trata de un programa muy utilizado a la hora de realizar definiciones constructivas, por su facilidad de uso y su simplicidad. Es un software de pago, aunque existe una versión limitada que es gratuita y suficiente para el objetivo de este trabajo. Para el posterior uso de la geometría definida en el software de cálculo energético, se necesita seguir ciertas reglas de definición que no son intuitivas para el usuario inexperto. La compañía creadora del programa pone a disposición del usuario en su página web una serie de vídeos guiados que facilitan el proceso, (Efinovatic, n.d.).

En la realización de este trabajo se ha encontrado grandes problemas de cohesión superficial a la hora de trasladar la geometría de los edificios considerados, desapareciendo en repetidas ocasiones algún cerramiento o siendo asignadas características constructivas incoherentes. Estas dificultades son causadas por el traslado de la definición de SketchUp a OpenStudio; el primero es capaz de generar superficies con coherencia geométrica entre sí, pero a la hora de definir una zona térmica con las mismas en el segundo programa, surgen los problemas. Este punto ejemplifica la importancia mencionada en los apartados de *Modelo del edificio* y *Modelo de cálculo* del *Capítulo 3. Simulación energética*.

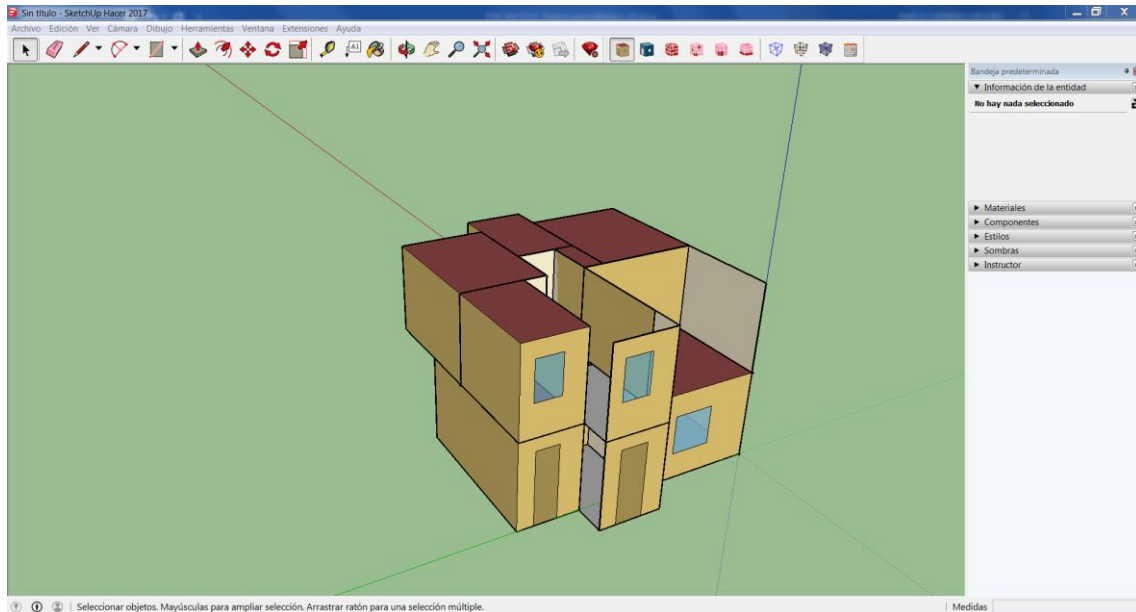


Figura 37. Ejemplo de error de definición geométrica en SketchUp.

4.3.5.3. SOLICITACIONES INTERIORES

En la *Figura 36* se observa que en el propio entorno de trabajo de SketchUp se hace explícito el tipo de edificio que se pretende definir. En base a dicha asignación, se asocian unos determinados perfiles de uso para las condiciones operacionales residenciales. Analizando el fichero de simulación utilizado por EnergyPlus, ya en formato **idf*, generado para el edificio de referencia se tiene lo siguiente.

- **Termostatos.** Los termostatos coinciden enteramente con lo establecido en la reglamentación mostrada en el *Anexo 1. Generación del edificio de referencia*.
- **Ocupación.** Se define una actividad de 105,30 W/pers, y una densidad de ocupación de 30 m²/pers, se tiene la potencia superficial total siguiente.

$$Q_{ocup} = \frac{105,30 \left[\frac{W}{pers} \right]}{30 \left[\frac{m^2}{pers} \right]} = 3,51 \left[\frac{W}{m^2} \right]$$

Dicho nivel de potencia tiene una distribución de un ratio de 0,3 radiante y una fracción sensible de la parte convectiva de 0,613. Además, la potencia por ocupantes lleva asociado un perfil horario que lo modifica, es el siguiente.

Ocupación (W/m2)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Laborables	1	1	1	1	1	1	1	1	0.25	0.25	0.25	0.25
Sábados	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Domingos	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Ocupación (W/m2)	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Laborables	0.25	0.25	0.25	0.25	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	1
Sábados	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Domingos	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Tabla 57. Desglose de perfil horario residencial de ocupación definido por SG-SAVE. Elaboración propia.

Ocupación (W/m2)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Laborables	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	0.54	0.54	0.54	0.54
Sábados	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15
Domingos	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15
Ocupación (W/m2)	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Laborables	0.54	0.54	0.54	0.54	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	2.15
Sábados	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15
Domingos	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15

Tabla 58. Desglose de carga por ocupación sensible horaria definido por SG-SAVE. Elaboración propia.

Ocupación (W/m2)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Laborables	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	0.34	0.34	0.34	0.34
Sábados	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36
Domingos	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36
Ocupación (W/m2)	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Laborables	0.34	0.34	0.34	0.34	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	1.36
Sábados	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36
Domingos	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36

Tabla 59. Desglose de carga por ocupación latente horaria definido por SG-SAVE. Elaboración propia.

Se observa una diferencia con respecto a los perfiles de uso en edificios de uso residencial, definidos en el documento maestro de la calificación energética en edificios como valores de tipo 1. Concretamente la diferencia reside en la distribución temporal de los perfiles, dado que en el fichero normativo se tiene la siguiente distribución:

- De 01:00h hasta 07:00h.
- De 08:00h hasta 15:00h.
- De 16:00h hasta 23:00h.
- 24:00h.

Sin embargo, en el fichero generado para el motor de cálculo EnergyPlus, por la configuración de los horarios utilizados por el programa, se tiene una hora más en el primer intervalo, lo que causa que se descuadre la programación horaria, dando lugar a la siguiente distribución.

- De 01:00h hasta 08:00h.
- De 09:00h hasta 16:00h.
- De 17:00h hasta 23:00h.
- 24:00h.

Además de la desviación en los perfiles de uso, sí considerados como normativos; conviene mencionar que el valor propuesto por la normativa, de tipo 2 para la componente convectiva de la ocupación es de 0,4, siendo en este modelo realizado por SG-SAVE de 0,7. Se trata de una diferencia considerable, aunque la normativa lo permite.

- **Iluminación.** Se define una densidad de potencia superficial total de 4,4 W/m².

Dicho nivel de potencia tiene un ratio de 0,8 radiante. Además, la potencia por iluminación lleva asociado un perfil horario que lo modifica, es el siguiente.

Iluminación (W/m ²)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Laborables, Sábados y Domingos	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
Iluminación (W/m ²)	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Laborables, Sábados y Domingos	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.5	1	1	1	1	0.5

Tabla 60. Desglose de perfil horario residencial de iluminación definido por SG-SAVE. Elaboración propia.

Iluminación (W/m ²)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Laborables, Sábados y Domingos	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32
Iluminación (W/m ²)	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Laborables, Sábados y Domingos	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	2.20	4.40	4.40	4.40	4.40	2.20

Tabla 61. Desglose de carga por iluminación horaria definido por SG-SAVE. Elaboración propia.

Se observa que el error de lapso temporal existente en las cargas internas por ocupación no es tal en la iluminación. Por lo tanto, no existe ninguna diferencia con respecto a los valores normativos asociados.

- **Equipos.** Se define una densidad de potencia superficial total de 4,4 W/m².

Dicho nivel de potencia tiene un ratio de 0,7 radiante. Además, la potencia por equipos lleva asociado un perfil horario que lo modifica, idéntico al de iluminación mostrado en la *Tabla 61*.

No se presenta ninguna discrepancia con los valores normativos.

En lo referente a los elementos de sombra, se tiene una programación permanentemente activada. Este punto difiere con el régimen de aplicación que establece la normativa, dado que se debe plantear una utilización diferente para noche y día, según sea verano e invierno. Además de la falta a la hora de definir el régimen de aplicación, por tratarse de un valor de tipo 1, se tiene otra incongruencia, dado que la asignación de los elementos de sombra no se hace a ninguna ventana existente en el edificio. Este hecho hace que, pese haber definido un elemento de tipo persiana, al no ser asignado a ninguna ventana, el efecto de sombreado es nulo. Este punto constituye una gran falta a la hora de cumplir con la normativa en materia de calificación energética de edificios y debe ser corregido.

Solicitaciones interiores de cálculo y condiciones operacionales				
	Perfil de uso en edificios de uso residencial	Período de aplicación de condiciones diferenciadas de los elementos de oscurecimiento y las protecciones solares móviles	Régimen diario y modo de operación de los elementos de oscurecimiento en edificios de uso residencial privado	Régimen diario de operación de las protecciones solares móviles
SG-SAVE	Incorrecto	1 de junio a 30 de septiembre	Incorrecto	De día, sí; y de noche, no

Tabla 62. Tabla resumen sobre el tratamiento de SG-SAVE a las Condiciones técnicas relativas a Solicitaciones interiores. Elaboración propia.

4.3.5.4. CONDICIONES DE CONTORNO EN LAS SUPERFICIES INTERIORES Y EXTERIORES

Observando el modelo realizado en formato *.idf, se observa que el modelo de radiación definido por SG-SAVE contempla únicamente la radiación solar directa, lo que hace que no esté

modelando los intercambios radiantes de las superficies adyacentes del edificio diferentes del suelo, que si se modela con reflectividad de 0,2 por defecto (US Department of Energy, 2010).

Las caras exteriores de los cerramientos de la envolvente del edificio definen los intercambios radiantes para con el exterior, teniendo 0,7 como coeficiente de absorptividad solar para los cerramientos opacos y una emisividad de 0,9, tanto para muros exteriores como para cubiertas.

Condiciones de contorno en las superficies interiores y exteriores					
	Radiación solar reflejada por las superficies adyacentes	Absorción de radiación solar por el terreno	Absorción de radiación solar incidente en las superficies opacas exteriores	Intercambio radiante de onda larga entre las superficies exteriores del edificio y su entorno	Intercambio radiante de onda larga en las superficies exteriores del edificio y su entorno
	$\rho=0,2$	$\alpha=0,8$	$\alpha=0,6$	$\epsilon=1$	$\epsilon=0,9$
SG-SAVE	No se modela	Correcto	$\alpha=0,7$	$\epsilon=0,9$	Correcto

Tabla 63. Tabla resumen sobre el tratamiento de SG-SAVE a las Condiciones técnicas relativas a Condiciones de contorno en las superficies interiores y exteriores. Elaboración propia.

El programa utiliza para los coeficientes de convección interiores el algoritmo TARP y para las exteriores el DOE-2, se remite a la documentación de referencia para mayor detalle (US Department of Energy, 2010). En lo referente al balance de energía, hace uso del algoritmo en base a Funciones de Transferencia de Conducción.

El programa, según se establece en el manual de procedimientos por defecto, y la definición del fichero de simulación asume que *“toda la radiación directa entrante en la zona se asume que cae sobre el suelo, donde es absorbida en función de la absorptividad solar del suelo”* (EnergyPlus, 2015).

Condiciones de contorno en las superficies interiores y exteriores					
	Transmisión de calor por convección en superficies exteriores del edificio	Tratamiento mixto del intercambio convectivo y radiante de onda larga en superficies exteriores del edificio	Radiación solar absorbida por las superficies interiores	Radiación solar absorbida por las superficies interiores	Radiación absorbida por las superficies interiores
	$h=20 \text{ W/(m}^2\text{K)}$	Valores según tabla 1 del DA DB-HE/1	$\alpha=0,6$	50%	0,3; 0,3; 0,07; y 0,33 respectivamente (ponderado por área)
SG-SAVE	Algoritmo DOE-2	-	Solo en el suelo, $\alpha=0,7$	0%	Todo el suelo

Tabla 64 (cont. Tabla 63). Tabla resumen sobre el tratamiento de SG-SAVE a las Condiciones técnicas relativas a Condiciones de contorno en las superficies interiores y exteriores. Elaboración propia.

Las fracciones radiantes de cada tipo de fuente interna difieren de los parámetros por defecto ofrecidos por la normativa, sin embargo, no es crítico al tratarse de valores de tipo 3; se asume que hay alguna justificación. En lo referente a la distribución de la radiación de dichas fuentes en lo que respecta al modelo de radiación de onda corta, de las luminarias, y de onda larga, de equipos y personas, en la bibliografía no queda claro cómo se modela. El extracto relativo al modelo para la radiación de onda larga de las fuentes internas es que *“la parte radiante es distribuida sobre las superficies dentro de cada zona de un modo prescrito”* (US Department of Energy, 2010). Sin embargo, se asume que, en el modelo de distribución, sea el que sea, las superficies, y su proporcionalidad global en la zona térmica, tendrá un papel importante. La absorptividad, y por lo tanto la emisividad, de las superficies de cerramientos interiores queda fijada en 0,9.

Por último, se tiene que es posible modelar la existencia de mobiliario mediante el complemento de SG-SAVE al programa SketchUp.

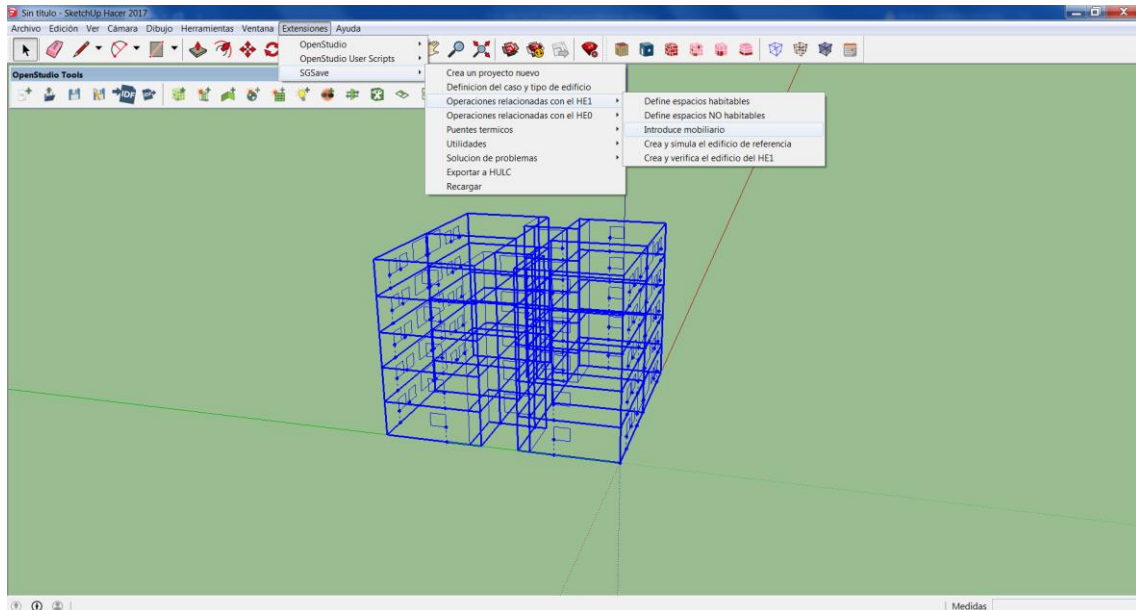


Figura 38. Introducción de mobiliario en el modelo del edificio. SG-SAVE.

El mobiliario, sin embargo, se modela como una construcción con 0,1 m de espesor, una densidad de 1000 kg/m^3 y un calor específico de $1200 \text{ J/(kg}\cdot\text{K)}$. Esta definición difiere de lo establecido en la normativa como valor de tipo 1.

Condiciones de contorno en las superficies interiores y exteriores						
	Absorción de radiación procedente de fuentes internas	Absorción de radiación procedente de fuentes externas	Intercambio radiante de onda larga entre las superficies interiores	Transmisión de calor por convección en superficies interiores	Tratamiento mixto del intercambio convectivo y radiante de onda larga en superficies interiores del edificio	Peso y calor específico del mobiliario en el interior del edificio de uso residencial privado
	Ocupantes: 0,6 Iluminación: 0,8 Equipos: 0,7	Proporcional a las áreas	$\epsilon=0,9$	$h=2 \text{ W/(m}^2\text{K)}$	Valores según tabla 1 del DA DB-HE/1	Calor específico: 1200 J/(kgK) Peso: 45 kg/m^2
SG-SAVE	Ocupantes: 0,3 Iluminación: 0,8 Equipos: 0,7	Se asume	Correcto	Algoritmo TARP	-	Calor específico: 1200 J/(kgK) Peso: 100 kg/m^2

Tabla 65 (cont. Tabla 63). Tabla resumen sobre el tratamiento de SG-SAVE a las Condiciones técnicas relativas a Condiciones de contorno en las superficies interiores y exteriores. Elaboración propia.

4.3.5.5. TRANSMISIÓN Y RADIACIÓN EN CERRAMIENTOS OPACOS Y EL TERRENO

En el informe final que muestra OpenStudio, tras el paso por los complementos de SG-SAVE, arroja los siguientes valores de transmitancia térmica.

Construcción	Superficie (m²)	U (W/m²K)
CUBIERTAS ZONA D_ REFERENCIA	279.12	0.406
HUECO REFERENCIA ESTE	21.00	3.504
HUECO REFERENCIA NORTE	60.00	3.004
HUECO REFERENCIA OESTE	27.00	3.504
HUECO REFERENCIA SUR	63.60	3.504
MURO EXTERIOR ZONA D_REFERENCIA	1140.60	0.752
SUELOS ZONA D_REFERENCIA	279.12	0.535

Figura 39. Hoja de transmitancias de cerramientos del edificio. SG-SAVE.

Estos valores, conviene destacar, que son valores que no contemplan las resistencias superficiales, son valores meramente constructivos. Una muestra de este hecho se puede observar en la *Tabla 29* y *Tabla 30*.

En lo relativo a los cerramientos opacos, el modelo del edificio de referencia creado con SG-SAVE arroja los siguientes valores de transmitancia de los elementos de la envolvente.

Muro Exterior	Espesor (m)	Conductividad (W/mK)
Mortero de cemento_Referencia	0.015	1.3
Ladrillo perforado_Referencia	0.115	0.5
Material Aislamiento Referencia Zona D_Muros	0.977 (m2K/W)	
Ladrillo hueco_Referencia	0.04	0.4
Mortero de cemento_Referencia	0.015	1.3
Utotal (W/m2K)	0.676	
Umax (W/m2K)	0.66	

Tabla 66. Muro exterior de referencia en SG-SAVE. Elaboración propia.

Se observa que no se hace un uso exacto de los materiales de referencia, dado que se sustituye el enlucido de yeso por el mortero de cemento. Sin embargo, más destacable es el hecho de tener un valor de transmitancia térmica superior al valor máximo permitido por la normativa; más aún cuando se debería estar reflejando las condiciones de referencia.

Cubierta	Espesor (m)	Conductividad (W/mK)
Plaqueta o baldosa ceramica_Referencia	0.015	1
Mortero de cemento_Referencia	0.015	1.3
Material Aislamiento Referencia Zona D_Cubiertas	2.224 (m2K/W)	
Hormigon con aridos ligeros_Referencia	0.07	1.15
Forjado Ceramico_Referencia	0.25	1.67
Utotal (W/m2K)	0.385	
Umax (W/m2K)	0.38	

Tabla 67. Cubierta de referencia en SG-SAVE. Elaboración propia.

En esta ocasión se hace un uso exacto de los materiales de referencia normativos. No obstante, se sigue excediendo, aunque muy levemente, el valor normativo máximo permitido para la transmitancia térmica de la cubierta en la zona climática D3.

Forjado al terreno	Espesor (m)	Conductividad (W/mK)
Solera Hormigon armado_Referencia	0.015	1
Material Aislamiento Referencia Zona D_Suelos	1.764 (m2K/W)	
Mortero de cemento_Referencia	0.015	1.3
Plaqueta o baldosa ceramica_Referencia	0.2	2.5
Utotal (W/m2K)	0.485	
Umax (W/m2K)	0.66	

Tabla 68. Forjado al terreno de referencia en SG-SAVE. Elaboración propia.

No existe diferencia con respecto a los materiales de referencia de la normativa y, en este caso, no se excede el valor máximo, aunque se constata que sigue difiriendo considerablemente del mismo.

Llama la atención la diferencia con respecto a los valores esperables para el edificio de referencia, mostrados en el *Anexo I. Generación del edificio de referencia*, dado que es un aspecto básico y no hay justificación alguna a la discrepancia, puesto que EnergyPlus permite realizar cualquier definición de cerramientos deseada.

Por último, es remarcable que el modelo del edificio de referencia generado por SG-SAVE no contempla los puentes térmicos de ningún modo.

Medición de puentes térmicos		
Tipo	Longitud (m)	PSI (W/mK)

Figura 40. Extracto del informe de SG-SAVE sobre puentes térmicos.

Revisando la documentación de EnergyPlus no se ha encontrado explícitamente información sobre las características térmicas del terreno. El software utiliza un programa de pre-procesado para caracterizar térmicamente el terreno. Por lo tanto, no se está en condiciones de asegurar o desmentir si está bien definido o no.

	Transmisión y radiación en cerramientos opacos y el terreno		
	Transmisión unidimensional por conducción	Transmisión bidimensional o tridimensional por conducción, puentes térmicos	Transmisión a través de cerramientos en contacto con el terreno
SG-SAVE	Correcto	Incorrecto, no se modela	Correcto

Tabla 69. Tabla resumen sobre el tratamiento de SG-SAVE a las Condiciones técnicas relativas a Transmisión y radiación en cerramientos opacos y el terreno. Elaboración propia.

4.3.5.6. TRANSMISIÓN Y RADIACIÓN EN HUECOS

Para los huecos se tiene definida una transmitancia térmica de 3,5 W/m²K y factor solar de 0,76, coincidente con el valor que se establece en el *Anexo I. Generación del edificio de referencia*. Además, se define la transmitancia visible como 0,76; este valor no estaba en proyecto y es un parámetro de tipo 3 según la normativa. Las propiedades definidas no varían con el ángulo de incidencia del sol, se trata de parámetros fijos.

El modelo del edificio de referencia generado por SG-SAVE asimila las puertas a una ventana más, por lo tanto, no se hace la diferencia que la normativa sugiere al tratarse de valores de tipo 3.

	Transmisión y radiación en huecos			
	Transmisión por conducción en huecos	Absorción de radiación de onda corta en la superficie exterior de huecos semitransparentes y puertas	Modificación de la transmisión por conducción y factor solar en huecos con elementos de oscurecimiento durante el periodo de aplicación de condiciones diferenciadas, en edificios de uso residencial privado	Sombra de protecciones solares
SG-SAVE	Correcto	Correcto	Incorrecto, no se aplica	Correcto

Tabla 70. Tabla resumen sobre el tratamiento de SG-SAVE a las Condiciones técnicas relativas a Transmisión y radiación en huecos. Elaboración propia.

4.3.5.7. RENOVACIÓN DE AIRE

El modelo energético de SG-SAVE para el edificio de viviendas unifamiliar define una ventilación residencial con valor nominal de 0,968 ren/h constante y una ventilación de 3,032 ren/h que se activa del 01 de junio hasta el 30 de septiembre en las primeras 8 horas del día, quedando un valor residual de 0,004 ren/h el resto del día. Se tiene que las infiltraciones definidas son de tipo constante, no dependientes ni de la temperatura exterior ni de la velocidad del viento, (EnergyPlus, 2015). Este modelado es sencillo y permitido por la normativa, dado que la mayoría de los parámetros referentes a la renovación del aire son de tipo 2 o 3. Sin embargo, no contemplar el exponente de caudal, fijado como un valor de tipo 1, sí parece estar faltando considerablemente al único requisito normativo en materia de renovación de aire.

Por otro lado, en virtud de los cálculos de ventilación establecidos en el *Anexo I. Generación del edificio de referencia*, se tiene que la ventilación definida supera con creces el valor de 0,467 ren/h mínimo necesario para la vivienda unifamiliar. En virtud de lo expuesto en la *Tabla 142*, la modelización de este parámetro no sería correcta de acuerdo con la normativa actual en materia de calificación energética.

En lo referente a la permeabilidad de las ventanas se tiene que se define en el propio interfaz de SketchUp, con el plug-in propio de SG-SAVE, en el valor normativo. Se asume que parte de la mayoración de la renovación de aire, con respecto al mínimo calculado para el edificio de referencia, proviene de considerar las infiltraciones en los huecos. Conviene destacar que en los edificios de tipo residencial todas las entradas de aire incontroladas es lo que definen la renovación de aire establecida en la normativa. Por lo tanto, del modo en que se ha escogido modelar el edificio, se está sobreventilando.

Conclusiones totalmente análogas se siguen para el edificio de viviendas en bloque.

	Renovación de aire					
	Escenarios de cálculo	Tasa de renovación de aire en zonas no habitables	Renovación de aire en zonas habitables de edificios con uso residencial privado	Infiltración por opacos	Infiltración por opacos	Infiltración por huecos
				n= 0,67	C	n= 0,67
SG-SAVE	Según fichero climático	No aplica	Diferente del valor por defecto y del de DB-HS 3	Se desconoce	Se desconoce	Se desconoce

Tabla 71. Tabla resumen sobre el tratamiento de SG-SAVE a las Condiciones técnicas relativas a Renovación de aire. Elaboración propia.

	Renovación de aire					
	Infiltración por huecos	Infiltración por aberturas de admisión	Infiltración por aberturas de admisión	Infiltración por aberturas de admisión	Coefficientes de presión	Exposición al viento
	C	n= 0,50	% apertura	C	Cp	%
SG-SAVE	Correcto	No aplica	No aplica	No aplica	Se desconoce	Se asume según geometría

Tabla 72 (cont. Tabla 71). Tabla resumen sobre el tratamiento de SG-SAVE a las Condiciones técnicas relativas a Renovación de aire. Elaboración propia.

4.3.5.8. EQUIPOS

En este punto del análisis no se considera equipos concretos, se remite al *Capítulo 5. Aplicación de bomba de calor* para observar la modelización específica de un sistema.

4.3.5.9. RESULTADOS

SG-SAVE, con la definición anterior, arroja los siguientes resultados para la demanda sensible de calefacción y refrigeración. Se tiene que existe un factor de mayoración del 25% para la demanda de calefacción y de un 15% para la de refrigeración; es un parámetro que el usuario no define en ningún momento, pero que en el fichero de simulación en EnergyPlus generado, aparece.

	Paredes Exteriores (kWh/m ²)	Paredes Terreno (kWh/m ²)	Paredes Interiores (kWh/m ²)	Cubiertas (kWh/m ²)	Suelos Aire (kWh/m ²)	Suelos Terreno (kWh/m ²)	Puentes Termicos (kWh/m ²)	Solar Ventanas (kWh/m ²)	Transmisión Ventanas (kWh/m ²)	Fuentes Internas (kWh/m ²)	Ventilación + Infiltraciones (kWh/m ²)	Total (kWh/m ²)
Invierno	-65.95	0.0	-3.83	-17.98	-14.51	0.0	0.0	49.45	-26.37	33.88	-76.75	-122.05

Figura 41. Demanda de calefacción del edificio de vivienda unifamiliar de referencia residencial. SG-SAVE.

	Paredes Exteriores (kWh/m ²)	Paredes Terreno (kWh/m ²)	Paredes Interiores (kWh/m ²)	Cubiertas (kWh/m ²)	Suelos Aire (kWh/m ²)	Suelos Terreno (kWh/m ²)	Puentes Termicos (kWh/m ²)	Solar Ventanas (kWh/m ²)	Transmisión Ventanas (kWh/m ²)	Fuentes Internas (kWh/m ²)	Ventilación + Infiltraciones (kWh/m ²)	Total (kWh/m ²)
verano	4.43	0.0	4.05	3.51	0.11	0.0	0.0	45.65	-2.47	17.07	-26.3	46.06

Figura 42. Demanda de refrigeración del edificio de vivienda unifamiliar de referencia residencial. SG-SAVE.

	Paredes Exteriores (kWh/m ²)	Paredes Terreno (kWh/m ²)	Paredes Interiores (kWh/m ²)	Cubiertas (kWh/m ²)	Suelos Aire (kWh/m ²)	Suelos Terreno (kWh/m ²)	Puentes Termicos (kWh/m ²)	Solar Ventanas (kWh/m ²)	Transmisión Ventanas (kWh/m ²)	Fuentes Internas (kWh/m ²)	Ventilación + Infiltraciones (kWh/m ²)	Total (kWh/m ²)
Invierno	-25.26	0.0	-3.66	-4.01	-4.53	0.0	0.0	34.18	-19.49	33.88	-49.19	-38.07

Figura 43. Demanda de calefacción del edificio de viviendas en bloque de referencia residencial. SG-SAVE.

	Paredes Exteriores (kWh/m ²)	Paredes Terreno (kWh/m ²)	Paredes Interiores (kWh/m ²)	Cubiertas (kWh/m ²)	Suelos Aire (kWh/m ²)	Suelos Terreno (kWh/m ²)	Puentes Termicos (kWh/m ²)	Solar Ventanas (kWh/m ²)	Transmisión Ventanas (kWh/m ²)	Fuentes Internas (kWh/m ²)	Ventilación + Infiltraciones (kWh/m ²)	Total (kWh/m ²)
verano	1.96	0.0	3.65	0.86	0.39	0.0	0.0	22.49	-2.05	17.07	-21.36	23.01

Figura 44. Demanda de refrigeración del edificio de viviendas en bloque de referencia residencial. SG-SAVE.

SG-SAVE, siguiendo una filosofía de presentación de resultados similar a la de CERMA, muestra una demanda de energía distribuida y desglosada entre las diferentes contribuciones.

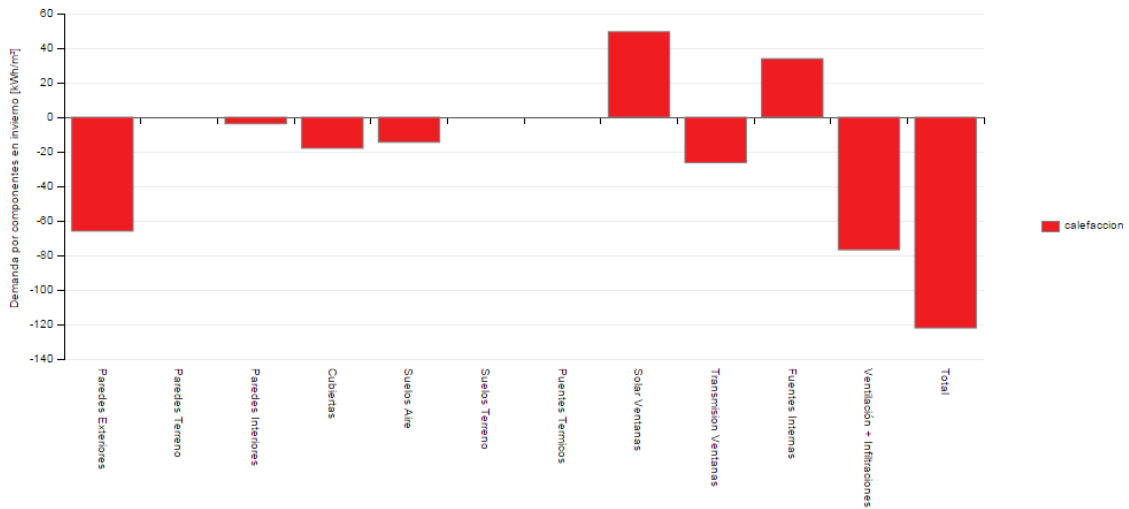


Figura 45. Demanda detallada de calefacción del edificio de vivienda unifamiliar de referencia residencial. SG-SAVE.

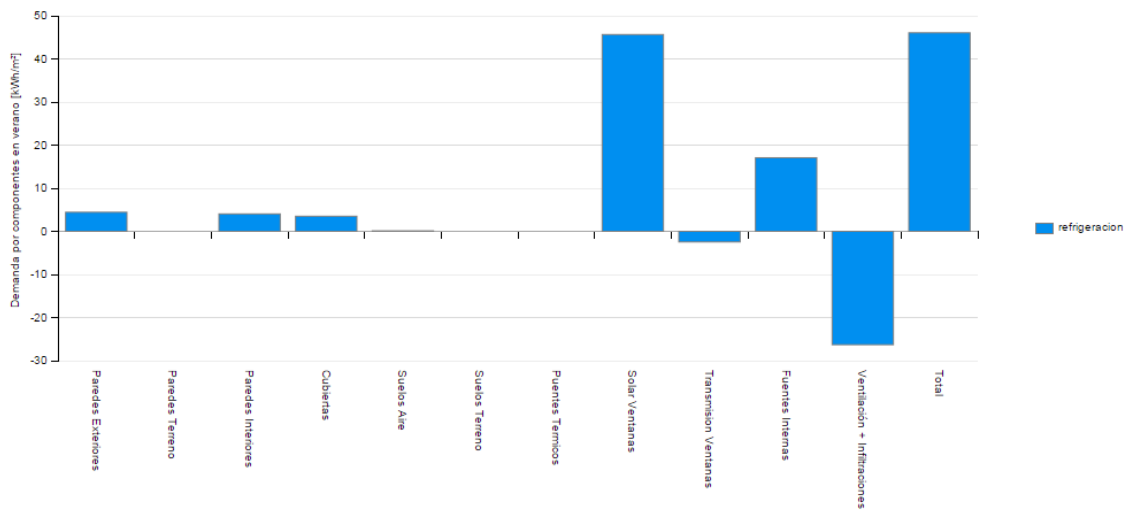


Figura 46. Demanda detallada de refrigeración del edificio de vivienda unifamiliar referencia residencial. SG-SAVE.

4.3.6. CYPETHERM HE PLUS

CYPETHERM HE Plus es un programa diseñado por CYPE Ingenieros “para la certificación de la eficiencia energética de los edificios y la justificación normativa de CTE DB HE0 y HE1 (revisión 2013) mediante un modelo del edificio para simulación energética calculado con EnergyPlus” (CYPE Ingenieros, n.d.-b).

Actualmente, al igual que SG-SAVE, ha obtenido el grado de Documento Reconocido para la certificación de eficiencia energética en España. A tales efectos, se trata de un software diseñado con una metodología de cálculo que “cumple con los requisitos impuestos en el capítulo 5 del CTE DB HE1, en el capítulo 5 del CTE DB HE 0 y en el documento reconocido ‘Condiciones técnicas de los procedimientos para la evaluación de la eficiencia energética de los edificios’ (CYPE Ingenieros, n.d.-a).

CYPETHERM HE PLUS, a diferencia de SG-SAVE, no genera el edificio de referencia para el residencial privado, dado que la normativa no lo exige. La modelización de dicho edificio, por lo tanto, se hará de un modo manual, comprobando que las características de definición de este se consiguen en el programa.

CYPETHERM HE PLUS utiliza un paso de tiempo de 15’, por defecto.

4.3.6.1. SOLICITACIONES EXTERIORES

El software CYPETHERM HE PLUS utiliza como motor de cálculo a EnergyPlus y hace uso de los mismos ficheros climáticos que la herramienta SG-SAVE. Por lo tanto, los comentarios arrojados en el apartado *Solicitaciones exteriores* anterior son de aplicación en este punto.

En la propia interfaz del programa se selecciona la zona climática a la que pertenece el emplazamiento del edificio, además se permite seleccionar un fichero climático diferente y personalizado. Sin embargo, por defecto, el programa hace uso de los mismos ficheros que SG-SAVE, como se ha mencionado en el párrafo anterior.

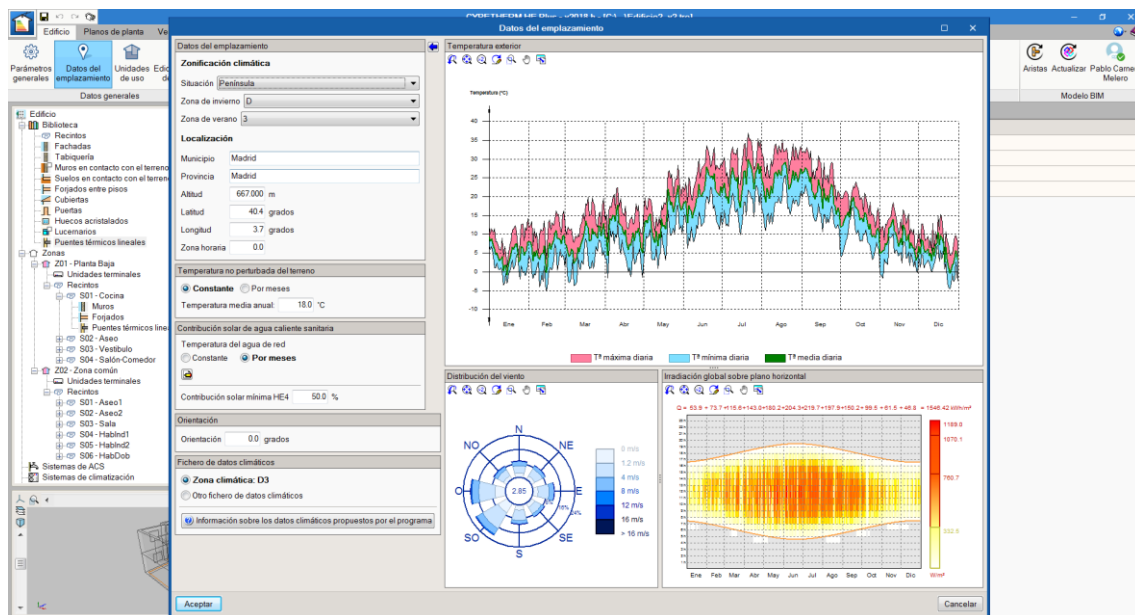


Figura 47. Definición de los datos del emplazamiento del edificio en CYPETHERM HE PLUS.

Para el resumen de las consideraciones técnicas de CYPETHERM HE PLUS en lo referente a solicitudes exteriores, por su similitud en este punto con SG-SAVE, se remite a la *Tabla 56*.

4.3.6.2. DEFINICIÓN GEOMÉTRICA

La definición geométrica del edificio ha de ser creada en un entorno de Building Information Modeling (en adelante, BIM). Para ello, la propia empresa CYPE Ingenieros S.A pone a disposición de los usuarios el programa IFC Builder; así como un curso gratuito para aprender a utilizarlo (CYPE Ingenieros, 2018).

La operación del software de definición geométrica no es demasiado compleja para un usuario con conocimientos de cualquier programa de CAD; sin embargo, para el usuario inexperto puede ser tedioso y la realización del curso formativo será necesaria. No obstante, la lógica del programa es asequible y robusta frente a las pruebas realizadas durante la realización del presente trabajo.

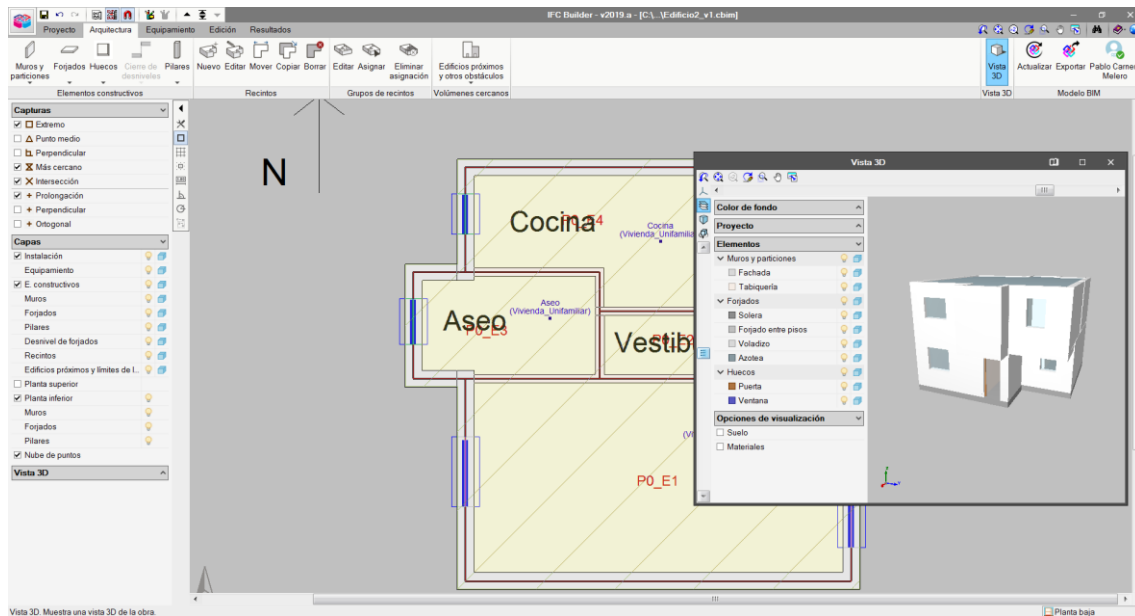


Figura 48. Ejemplo de definición geométrica en IFC Builder.

En CYPETHERM HE PLUS se tiene la particularidad que cuando se define la altura de cada planta, se descuenta la altura de los forjados interiores, teniendo en el caso de la vivienda unifamiliar una altura de zona térmica de 2,4 m y no de 2,7 m.

4.3.6.3. SOLICITACIONES INTERIORES

El programa ofrece la selección de una tipología de uso del edificio, la cual va asociada a unas condiciones operacionales determinadas. Cuando se analiza el fichero de simulación, en formato *.idf, se observa lo siguiente.

- **Termostatos.** Los termostatos coinciden enteramente con lo establecido en la reglamentación mostrada en el *Anexo I. Generación del edificio de referencia*.

- **Ocupación.** Se define una actividad de 100 W/pers, y una cantidad de ocupación total de 3,11 personas, en una superficie total de 88,46 m². Por lo tanto, la potencia total por unidad de superficie asociada a las cargas térmicas es la siguiente.

$$Q_{ocup} = \frac{100 \left[\frac{W}{pers} \right] \cdot 3,11 [pers]}{88,46 [m^2]} = 3,52 \left[\frac{W}{m^2} \right]$$

Dicho nivel de potencia tiene una distribución de un ratio de 0,3 radiante y una fracción sensible de la parte convectiva de 0,613. Además, la potencia por ocupantes lleva asociado un perfil horario que lo modifica, es el siguiente.

Ocupación (W/m2)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Laborables	1	1	1	1	1	1	1	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
Sábados	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Domingos	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Ocupación (W/m2)	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Laborables	0,25	0,25	0,25	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	1
Sábados	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Domingos	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Tabla 73. Desglose de perfil horario residencial de ocupación definido por CYPETHERM HE PLUS. Elaboración propia.

Ocupación (W/m2)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Laborables	2,16	2,16	2,16	2,16	2,16	2,16	2,16	0,54	0,54	0,54	0,54	0,54
Sábados	2,16	2,16	2,16	2,16	2,16	2,16	2,16	2,16	2,16	2,16	2,16	2,16
Domingos	2,16	2,16	2,16	2,16	2,16	2,16	2,16	2,16	2,16	2,16	2,16	2,16
Ocupación (W/m2)	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Laborables	0,54	0,54	0,54	1,08	1,08	1,08	1,08	1,08	1,08	1,08	1,08	2,16
Sábados	2,16	2,16	2,16	2,16	2,16	2,16	2,16	2,16	2,16	2,16	2,16	2,16
Domingos	2,16	2,16	2,16	2,16	2,16	2,16	2,16	2,16	2,16	2,16	2,16	2,16

Tabla 74. Desglose de carga por ocupación sensible horaria definido por CYPETHERM HE PLUS. Elaboración propia.

Ocupación (W/m2)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Laborables	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34
Sábados	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36
Domingos	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36
Ocupación (W/m2)	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Laborables	0,34	0,34	0,34	0,68	0,68	0,68	0,68	0,68	0,68	0,68	0,68	1,36
Sábados	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36
Domingos	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36

Tabla 75. Desglose de carga por ocupación latente horaria definido por CYPETHERM HE PLUS. Elaboración propia.

Se observa que la distribución temporal en cuanto a los perfiles horarios en la ocupación del edificio es la correcta en comparación con el documento maestro mostrado en el *Anexo I. Generación del edificio de referencia*. Sin embargo, la discrepancia viene en términos de los valores absolutos de las cargas sensibles; este hecho es menor, dado que difiere en las centésimas. La diferencia es causada por el redondeo en los decimales, aparece 2,16 W/m² en lugar de 2,15 W/m².

El modelado realizado por CYPETHERM HE PLUS asume, además, como válido la componente convectiva de la ocupación, fijada en 0,4, siendo esta un tipo de dato 2.

- **Iluminación.** Se define una densidad de potencia superficial total de 4,4 W/m².

Dicho nivel de potencia tiene un ratio de 0,656 radiante, el cual difiere con el dato de tipo 2 de 0,8 propuesto por la normativa. Además, la potencia por iluminación lleva asociado un perfil horario que lo modifica, es el siguiente.

Iluminación (W/m ²)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Laborables, Sábados y Domingos	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
Iluminación (W/m ²)	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Laborables, Sábados y Domingos	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.5	1	1	1	1	0.5

Tabla 76. Desglose de perfil horario residencial de iluminación definido por CYPETHERM HE PLUS. Elaboración propia.

Iluminación (W/m ²)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Laborables, Sábados y Domingos	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32
Iluminación (W/m ²)	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Laborables, Sábados y Domingos	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	2.20	4.40	4.40	4.40	4.40	2.20

Tabla 77. Desglose de carga por iluminación horaria definido por CYPETHERM HE PLUS. Elaboración propia.

No existe discrepancia alguna en los perfiles temporales con los datos de tipo 1 establecidos en la normativa.

- **Equipos.** Se define una densidad de potencia superficial total de 4,4 W/m².

Dicho nivel de potencia tiene un ratio de 0,7 radiante, de acuerdo con el valor de tipo 2 del documento maestro asociado. Además, la potencia por equipos lleva asociado un perfil horario que lo modifica, idéntico al de iluminación mostrado en la *Tabla 76*.

No se presenta ninguna discrepancia con los valores normativos.

El modelo genera, por defecto, un elemento de sombra interior que tiene una programación que mantiene desactivada la sombra durante las primeras 8 horas del día desde el 01 de enero hasta el 31 de mayo. Posteriormente, durante el período de junio a septiembre, ambos incluidos, el efecto se revierte, estando desactivada la sombra desde las 9:00h hasta las 24:00h. Finalmente, desde el 01 de octubre a finales de año, se vuelve a la programación inicial. El elemento de sombra está correctamente asignado a todas las ventanas del edificio. Sin embargo, los elementos de sombra realizan un sombreado total de las ventanas, lo cual en el período veraniego no coincide con el dato de tipo 1 establecido en la normativa. El documento maestro (Ministerio de Industria Energía y Turismo, 2015b) y la guía del IDAE asociada (IDAE, 2009b) establecen que el sombreado en verano debe cubrir un 30% de la superficie total de las ventanas. La programación de sombras, por lo tanto, no es correcta.

	Solicitaciones interiores de cálculo y condiciones operacionales			
	Perfil de uso en edificios de uso residencial	Período de aplicación de condiciones diferenciadas de los elementos de oscurecimiento y las protecciones solares móviles	Régimen diario y modo de operación de los elementos de oscurecimiento en edificios de uso residencial privado	Régimen diario de operación de las protecciones solares móviles
CYPETHERM HE PLUS	Correcto	1 de junio a 30 de septiembre	Incorrecto	De día, sí; y de noche, no

Tabla 78. Tabla resumen sobre el tratamiento de CYPETHERM HE PLUS a las Condiciones técnicas relativas a Solicitaciones interiores. Elaboración propia.

4.3.6.4. CONDICIONES DE CONTORNO EN LAS SUPERFICIES INTERIORES Y EXTERIORES

Observando el modelo realizado en formato *.idf, se observa que el modelo de radiación definido por el programa contempla únicamente la radiación solar directa, lo que hace que no esté modelando los intercambios radiantes de las superficies adyacentes del edificio diferentes

del suelo, que si se modela con reflectividad de 0,2 por defecto (US Department of Energy, 2010). En este punto adopta las características por defecto, del mismo modo que hacía SG-SAVE.

Las caras exteriores de los cerramientos de la envolvente del edificio definen los intercambios radiantes para con el exterior. CYPETHERM HE PLUS define un coeficiente de absorptividad solar nulo para los muros exteriores y de 0,6 para las cubiertas. Define una emisividad de 0,9, tanto para muros exteriores como para cubiertas. Llama la atención que los cerramientos opacos verticales exteriores tengan definida una absorptividad nula, pese a tener libertad en la definición de dicho valor, al ser de tipo 3.

Condiciones de contorno en las superficies interiores y exteriores					
	Radiación solar reflejada por las superficies adyacentes	Absorción de radiación solar por el terreno	Absorción de radiación solar incidente en las superficies opacas exteriores	Intercambio radiante de onda larga entre las superficies exteriores del edificio y su entorno	Intercambio radiante de onda larga en las superficies exteriores del edificio y su entorno
	$\rho=0,2$	$\alpha=0,8$	$\alpha=0,6$	$\epsilon=1$	$\epsilon=0,9$
CYPETHERM HE PLUS	No se modela	Correcto	$\alpha=0$ para muros. $\alpha=0,6$ para cubiertas.	No se modela	Correcto

Tabla 79. Tabla resumen sobre el tratamiento de CYPETHERM HE PLUS a las Condiciones técnicas relativas a Condiciones de contorno en las superficies interiores y exteriores. Elaboración propia.

El programa, según se establece en el manual de procedimientos por defecto, y la definición del fichero de simulación asume que *“toda la radiación directa entrante en la zona se asume que cae sobre el suelo, donde es absorbida en función de la absorptividad solar del suelo”* (EnergyPlus, 2015).

El programa utiliza para los coeficientes de convección interiores un valor constante de 2 W/(m²·K) y para las exteriores 20 W/(m²·K). En lo referente al balance de energía, hace uso del algoritmo en base a Funciones de Transferencia de Conducción.

El modelo de CYPETHERM HE PLUS, además, contempla el efecto del mobiliario interior con un calor específico de 1.200 J/(kg·K) y un peso de 45 kg/m², de acuerdo con el valor normativo de tipo 1 del documento maestro. Se tiene una superficie de 44 m² y un espesor de 5 cm con las propiedades anteriores.

Condiciones de contorno en las superficies interiores y exteriores					
	Transmisión de calor por convección en superficies exteriores del edificio	Tratamiento mixto del intercambio convectivo y radiante de onda larga en superficies exteriores del edificio	Radiación solar absorbida por las superficies interiores	Radiación solar absorbida por las superficies interiores	Radiación absorbida por las superficies interiores
	$h=20$ W/(m ² K)	Valores según tabla 1 del DA DB-HE/1	$\alpha=0,6$	50%	0,3; 0,3; 0,07; y 0,33 respectivamente (ponderado por área)
CYPETHERM HE PLUS	Correcto	-	Solo en el suelo, correcto	Correcto	Todo el suelo

Tabla 80 (cont. Tabla 79). Tabla resumen sobre el tratamiento de CYPETHERM HE PLUS a las Condiciones técnicas relativas a Condiciones de contorno en las superficies interiores y exteriores. Elaboración propia.

Las fracciones radiantes de cada tipo de fuente interna son prácticamente idénticas a los parámetros por defecto ofrecidos por la normativa. En lo referente a la distribución de la radiación de dichas fuentes en lo que respecta al modelo de radiación de onda corta, las consideraciones son completamente análogas a las expuestas en el apartado relativo a SG-SAVE. La absorptividad, y por lo tanto la emisividad, de las superficies de cerramientos interiores queda fijada en 0,9.

Condiciones de contorno en las superficies interiores y exteriores						
	Absorción de radiación procedente de fuentes internas	Absorción de radiación procedente de fuentes externas	Intercambio radiante de onda larga entre las superficies interiores	Transmisión de calor por convección en superficies interiores	Tratamiento mixto del intercambio convectivo y radiante de onda larga en superficies interiores del edificio	Peso y calor específico del mobiliario en el interior del edificio de uso residencial privado
	Ocupantes: 0,6 Iluminación: 0,8 Equipos: 0,7	Proporcional a las áreas	$\epsilon=0,9$	$h=2 \text{ W/(m}^2\text{K)}$	Valores según tabla 1 del DA DB-HE/1	Calor específico: 1200 J/(kgK) Peso: 45 kg/m ²
CYPETHERM HE PLUS	Ocupantes: 0,6 Iluminación: 0,8 Equipos: 0,7	Se asume	Correcto	Correcto	-	Correcto

Tabla 81 (cont. Tabla 79). Tabla resumen sobre el tratamiento de CYPETHERM HE PLUS a las Condiciones técnicas relativas a Condiciones de contorno en las superficies interiores y exteriores. Elaboración propia.

4.3.6.5. TRANSMISIÓN Y RADIACIÓN EN CERRAMIENTOS OPACOS Y EL TERRENO

El modelo creado con CYPETHERM HE PLUS permite establecer la conductividad térmica del terreno en $2 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$; el resto de los parámetros de definición del terreno, de tipo 2, como la densidad y el calor específico no se han podido cuantificar. Sin embargo, en este punto, la normativa deja flexibilidad a los diferentes modelos energéticos.

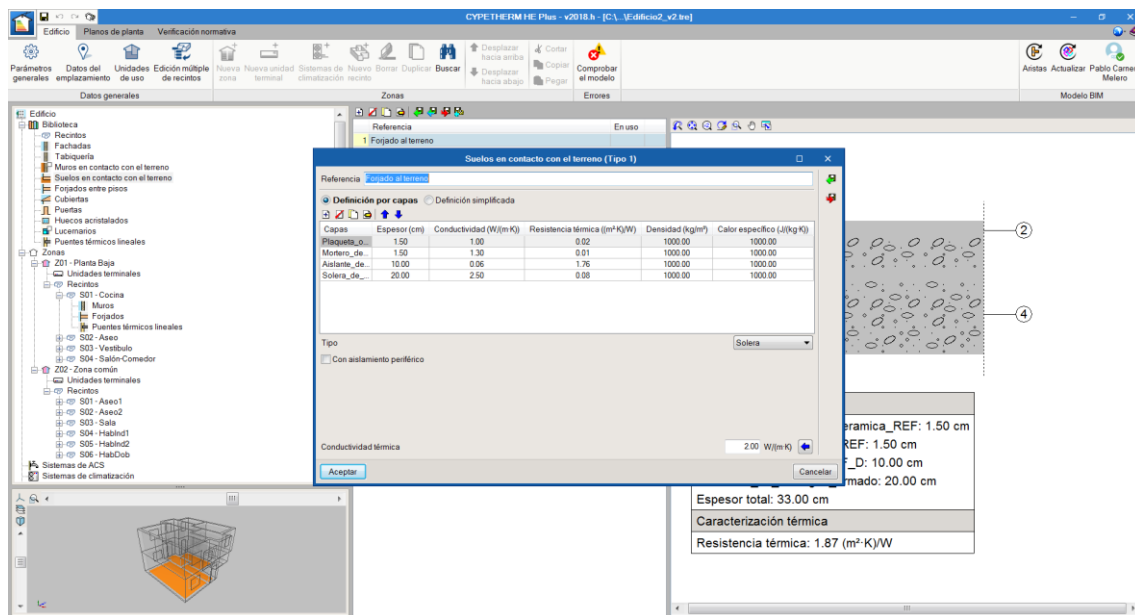


Figura 49. Ejemplo de definición de suelos en contacto con el terreno en CYPETHERM HE PLUS.

En lo relativo a los cerramientos opacos, el modelo del edificio creado con CYPETHERM HE PLUS permite definir capa a capa los cerramientos o hacer uso de una definición simplificada. Se trata de un procedimiento similar al ofrecido por la herramienta de referencia, HULC. Se tienen los siguientes valores de transmitancia de los elementos de la envolvente.

Muro Exterior	Espesor (m)	Conductividad (W/mK)
Mortero de cemento_Referencia	0.015	1.3
Ladrillo perforado_Referencia	0.115	0.5
Material Aislamiento Referencia Zona D_Muros	0.977 (m2K/W)	
Ladrillo hueco_Referencia	0.04	0.4
Enlucido_de_yeso_Referencia	0.015	0.57
Utotal (W/m2K)	0.66	
Umax (W/m2K)	0.66	

Tabla 82. Muro exterior de referencia en CYPETHERM HE PLUS. Elaboración propia.

Cubierta	Espesor (m)	Conductividad (W/mK)
Plaqueta o baldosa ceramica_Referencia	0.015	1
Mortero de cemento_Referencia	0.015	1.3
Material Aislamiento Referencia Zona D_Cubiertas	2.224 (m2K/W)	
Hormigon con aridos ligeros_Referencia	0.07	1.15
Forjado Ceramico_Referencia	0.25	1.67
Utotal (W/m2K)	0.38	
Umax (W/m2K)	0.38	

Tabla 83. Cubierta de referencia en CYPETHERM HE PLUS. Elaboración propia.

Forjado al terreno	Espesor (m)	Conductividad (W/mK)
Solera Hormigon armado_Referencia	0.015	1
Material Aislamiento Referencia Zona D_Suelos	1.764 (m2K/W)	
Mortero de cemento_Referencia	0.015	1.3
Plaqueta o baldosa ceramica_Referencia	0.2	2.5
Utotal (W/m2K)	0.53	
Umax (W/m2K)	0.66	

Tabla 84. Forjado al terreno de referencia en CYPETHERM HE PLUS. Elaboración propia.

Como se ha mencionado en la introducción al programa elaborado por CYPE Ingenieros S.A., el modelado del edificio con las condiciones de referencia se ha realizado de modo manual. Por lo tanto, se ha forzado que se tengan tanto los materiales de referencia, como los valores constructivos concretos asociados.

Además de la definición sencilla y manejable de las características constructivas, se tiene la siguiente definición de los puentes térmicos en el edificio modelado.

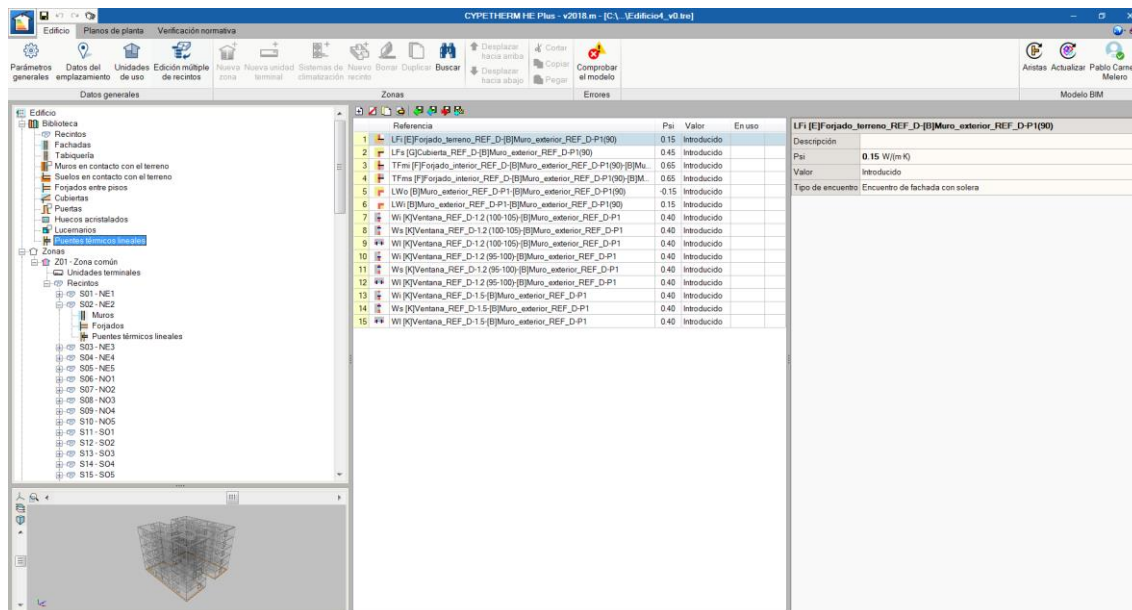


Figura 50. Puentes térmicos en el edificio de viviendas en bloque. CYPETHERM HE PLUS.

El modelo generado por CYPETHERM HE PLUS, cuando se ha exportado la geometría de IFC Builder y se calcula el edificio, localiza multitud de puentes térmicos constructivos, los de referencia y otros, asignando un valor de Psi por defecto de 0,5. Estos valores son modificables y los puentes térmicos distintos a los de referencia se han eliminado del modelo.

	Transmisión y radiación en cerramientos opacos y el terreno		
	Transmisión unidimensional por conducción	Transmisión bidimensional o tridimensional por conducción, puentes térmicos	Transmisión a través de cerramientos en contacto con el terreno
CYPETHERM HE PLUS	Correcto	Correcto	Correcto, al menos, parcialmente

Tabla 85. Tabla resumen sobre el tratamiento de CYPETHERM HE PLUS a las Condiciones técnicas relativas a Transmisión y radiación en cerramientos opacos y el terreno. Elaboración propia.

4.3.6.6. TRANSMISIÓN Y RADIACIÓN EN HUECOS

Para los huecos se tiene definida una transmitancia térmica de 3,5 W/m²K y factor solar de 0,76, coincidente con el valor que se establece en el *Anexo I. Generación del edificio de referencia*.

En el modelo del edificio de referencia generado por CYPETHERM HE PLUS, las puertas son consideradas como materiales sin masa y, por lo tanto, sin inercia. No obstante, sí tienen las características constructivas que recomienda la normativa y que en este trabajo se muestran en el anexo correspondiente, 2,2 W/m²K y 0,70 de absorptividad.

	Transmisión y radiación en huecos			
	Transmisión por conducción en huecos	Absorción de radiación de onda corta en la superficie exterior de huecos semitransparentes y puertas	Modificación de la transmisión por conducción y factor solar en huecos con elementos de oscurecimiento durante el periodo de aplicación de condiciones diferenciadas, en edificios de uso residencial privado	Sombra de protecciones solares
CYPETHERM HE PLUS	Correcto	Correcto	Correcto	Correcto

Tabla 86. Tabla resumen sobre el tratamiento de CYPETHERM HE PLUS a las Condiciones técnicas relativas a Transmisión y radiación en huecos. Elaboración propia.

4.3.6.7. RENOVACIÓN DE AIRE

El modelo creado por CYPETHERM HE PLUS considera los siguientes flujos de aire:

- **Ventilación.**

La ventilación se define conforme establece la normativa en cuanto a las 4 renovaciones por hora que ocurren durante las noches de verano, en las primeras ocho horas del día y del 01 de junio al 30 de septiembre, asociadas a la apertura de las ventanas, tal y como se expone en el *Anexo I. Generación del edificio de referencia*. Por otro lado, se define una ventilación en un horario complementario a la anterior de 0,467 ren/h, coincidente con la definida por el DB-HS 3 normativo.

- **Infiltración.**

La infiltración se define siguiendo el modelo AIM-2 de Walker & Wilson (EnergyPlus, 2015), con la siguiente ecuación:

$$Infiltration = (F_{Schedule}) \sqrt{(c \cdot C_s \cdot \Delta T^n)^2 + (c \cdot C_w \cdot (s \cdot WindSpeed)^{2n})^2}$$

Siendo,

- $(F_{Schedule})$: fracción de horario para determinar si la ecuación es válida en un determinado intervalo temporal.

- c : coeficiente de flujo [$m^3/(s \cdot Pa^n)$].

- C_s : coeficiente de “stack” [$(Pa/K)^n$].

- ΔT : diferencia media entre temperatura interior y exterior [K].

- n : coeficiente de presión.

- C_w : coeficiente de viento [$(Pa \cdot s^n/m^2)^n$].

- s : coeficiente de “shelter”.

- $WindSpeed$: velocidad del viento [m/s].

El modelado que realiza el CYPETHERM HE PLUS sobre las infiltraciones está de acuerdo con el valor normativo, de tipo 1, sobre el coeficiente de presión establecido en 0,67. El resto de los parámetros que establece el documento maestro en materia de renovación de aire son de tipo 2 y de tipo 3. El modelo matemático utilizado para las infiltraciones tiene una definición más completa del fenómeno que tiene lugar, contemplando por ejemplo el efecto térmico en los flujos incontrolados de aire en el edificio. Se juzga como adecuado y como más completo que los límites establecidos por la normativa.

Finalmente, el balance del aire en el edificio se realiza mediante una suma cuadrática de ambos términos. Por lo tanto, la suma del caudal de renovación de aire dentro del edificio será superior al calculado según el DB-HS 3.

Renovación de aire						
	Escenarios de cálculo	Tasa de renovación de aire en zonas no habitables	Renovación de aire en zonas habitables de edificios con uso residencial privado	Infiltración por opacos n= 0,67	Infiltración por opacos C	Infiltración por huecos n= 0,67
CYPETHERM HE PLUS	Según fichero climático	No aplica	Diferente del valor por defecto y del de DB-HS 3	Se desconoce	C=16 m ³ /(h·m ²) (a 100 Pa)	Se desconoce

Tabla 87. Tabla resumen sobre el tratamiento de CYPETHERM HE PLUS a las Condiciones técnicas relativas a Renovación de aire. Elaboración propia.

Renovación de aire						
	Infiltración por huecos C	Infiltración por aberturas de admisión n= 0,50	Infiltración por aberturas de admisión % apertura	Infiltración por aberturas de admisión C	Coefficientes de presión Cp	Exposición al viento %
CYPETHERM HE PLUS	Correcto	No aplica	No aplica	No aplica	Modelados de un modo diferente	Se asume según geometría

Tabla 88 (cont. Tabla 87). Tabla resumen sobre el tratamiento de CYPETHERM HE PLUS a las Condiciones técnicas relativas a Renovación de aire. Elaboración propia.

En algún lugar en la definición de los coeficientes de la ecuación anterior se tiene un efecto de inclusión del caudal de renovación debido a la campana extractora, dado que se define en el programa propio de CYPETHERM HE PLUS.

4.3.6.8. EQUIPOS

En este punto del análisis no se considera equipos concretos, se remite al *Capítulo 5. Aplicación de bomba de calor* para observar la modelización específica de un sistema.

4.3.6.9. RESULTADOS

Finalmente, el programa CYPETHERM HE PLUS arroja los siguientes resultados tras realizar el modelado anteriormente descrito.

Edificio														
Edificio objeto(Demanda)														
Energía de calefacción y temperaturas mínimas														
Zona	Superficie (m²)	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
Z01_Planta_Baja	41.4	18.32	12.81	10.05	5.42	2.39	-	-	-	2.57	11.7	17.88	81.15	
Z02_Zona_comun	47.06	20.71	14.53	11.33	5.95	2.69	-	-	-	2.74	13.13	20.19	91.26	
Total	88.46	19.59	13.72	10.73	5.7	2.55	-	-	-	2.66	12.46	19.11	86.53	

Figura 51. Demanda energética del edificio de referencia de vivienda unifamiliar residencial. CYPETHERM HE PLUS.

Edificio														
Edificio objeto(Demanda)														
Energía de calefacción y temperaturas mínimas														
Zona	Superficie (m²)	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
Z01_Zona_comun	1157.77	11.67	7.22	5.31	2.41	1.11	-	-	-	0.43	6.21	11.33	45.68	
Total	1157.77	11.67	7.22	5.31	2.41	1.11	-	-	-	0.43	6.21	11.33	45.68	
Energía de refrigeración y temperaturas máximas														
Zona	Superficie (m²)	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
Z01_Zona_comun	1157.77	-	-	-	-	2	4.88	5.44	3.01	-	-	-	15.33	
Total	1157.77	-	-	-	-	2	4.88	5.44	3.01	-	-	-	15.33	

Figura 52. Demanda energética del edificio de referencia de viviendas en bloque residencial. CYPETHERM HE PLUS.

CYPETHERM HE PLUS permite extraer informes completos sobre el cumplimiento de HE1 y HE0, así como otros informes específicos sobre confort interior, condensaciones, descompensaciones interiores y materialidad.

The screenshot displays the CYPETHERM HE PLUS software interface. The main window shows a list of reports under 'Listados complementarios', including 'Descripción de materiales y elementos constructivos', 'Cálculo del factor de reducción', 'Condensaciones', and 'Confort interior'. A 3D model of a building is visible in the bottom left corner. The interface also shows a table of energy performance data, including heating and cooling demands, and a detailed energy balance table.

Zona	Superficie (m²)	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
Z01_Planta_Baja	41.4	18.32	12.81	10.05	5.42	2.39	-	-	-	2.57	11.7	17.88	81.15	
Z02_Zona_comun	47.06	20.71	14.53	11.33	5.95	2.69	-	-	-	2.74	13.13	20.19	91.26	
Total	88.46	19.59	13.72	10.73	5.7	2.55	-	-	-	2.66	12.46	19.11	86.53	

Figura 53. Informes complementarios. CYPETHERM HE PLUS.

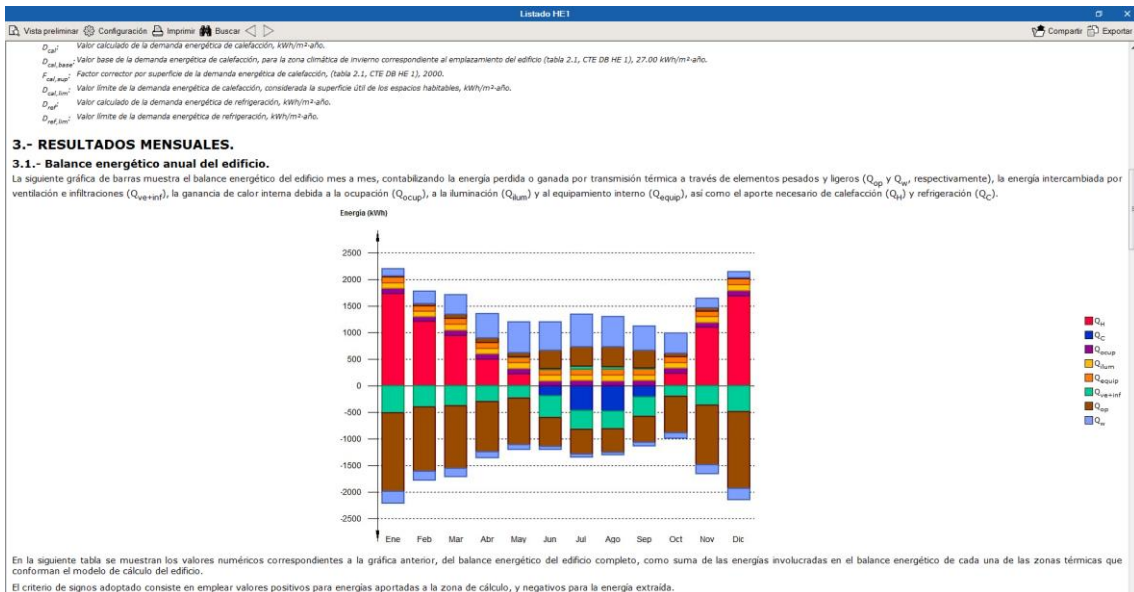


Figura 54. Ejemplo de desglose de demanda energética en Listado HE1. CYPETHERM HE PLUS.

4.3.7. MODELO PROPIO

Como se ha mencionado en el *Capítulo 1. Introducción*, este trabajo pretende conseguir la máxima precisión posible en la definición del comportamiento energético del edificio de referencia. Para ello se va a basar en el programa informático EnergyPlus, considerado un “motor de cálculo de referencia cuya precisión se considera contrastada [...]” (Ministerio de Industria Energía y Turismo, 2015b).

Al utilizar un software que no está programado para considerar los parámetros por defecto que todo procedimiento de cálculo informático debe cumplir según la normativa española, se debe asegurar que la definición de los parámetros es la adecuada, dado que se hará de modo manual. Si el lector desea conocer más sobre el funcionamiento de EnergyPlus y su operatividad directamente desde su interfaz propia, se remite al Anexo I del Trabajo Final de Grado (en adelante, TFG) de quien suscribe este documento (Carnero Melero, 2016).

Es importante destacar que EnergyPlus es, no sólo un software de referencia y prestigio mundial, sino además de libre uso.

En la definición del Modelo propio se utiliza un paso de tiempo de 10’, el recomendado por la documentación de referencia del uso del programa (EnergyPlus, 2015). Este punto difiere con lo establecido para SG-SAVE y CYPETHERM HE PLUS.

4.3.7.1. SOLICITACIONES EXTERIORES

El modelo propio generado para tratar de modelar el edificio con las condiciones de referencia tiene en cuenta el uso de ficheros climáticos normativos. Conviene recordar que ninguno de los programas analizados lo contempla de ese modo.

No se tiene interfaz ninguna, dado que se trabaja sobre EnergyPlus directamente y la selección del fichero climático es muy sencilla mediante un buscador. La compleja labor, como se comenta en el final *Anexo II. Ficheros Climáticos*, es la traducción de formatos desde el *.MET empleado por el ministerio competente en materia de energía.

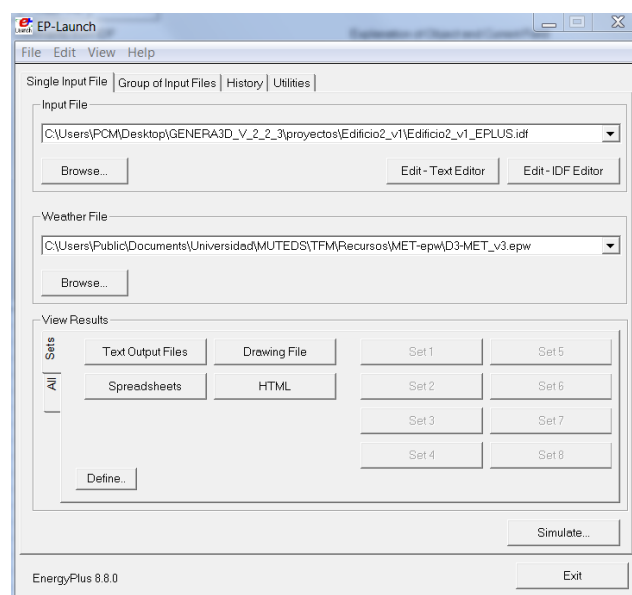


Figura 55. Selector de fichero constructivo y fichero climático. EnergyPlus.

Para el resumen de las consideraciones técnicas del Modelo propio en lo referente a solicitudes exteriores, se tiene la siguiente tabla.

	Solicitaciones exteriores		
	Caracterización climática	Datos climáticos normativos	Otros datos climáticos
Modelo propio	Utiliza el concepto de zona climática	Contempla directamente todos los datos climáticos determinantes	Contempla directamente todos los datos climáticos no determinantes

Tabla 89. Tabla resumen sobre el tratamiento del Modelo propio a las Condiciones técnicas relativas a Solicitaciones exteriores. Elaboración propia.

4.3.7.2. DEFINICIÓN GEOMÉTRICA

La definición geométrica del edificio se ha llevado a cabo mediante el programa de libre uso Genera 3D, desarrollado por los profesores José Manuel Pinazo Ojer, Víctor Soto Francés y Emilio Sarabia Escrivà y propiedad de la Fundación Atecyr. Para un detalle más concreto sobre el funcionamiento del programa, se remite al *Anexo II* del TFG previamente mencionado, (Carnero Melero, 2016).

La operatividad del programa es muy sencilla, partiendo de unas reglas muy básicas y un software genérico de CAD. Las nociones necesarias para llevar a cabo la definición son elementales y cualquier usuario con conocimientos básicos puede acometerla sin problema ninguno.

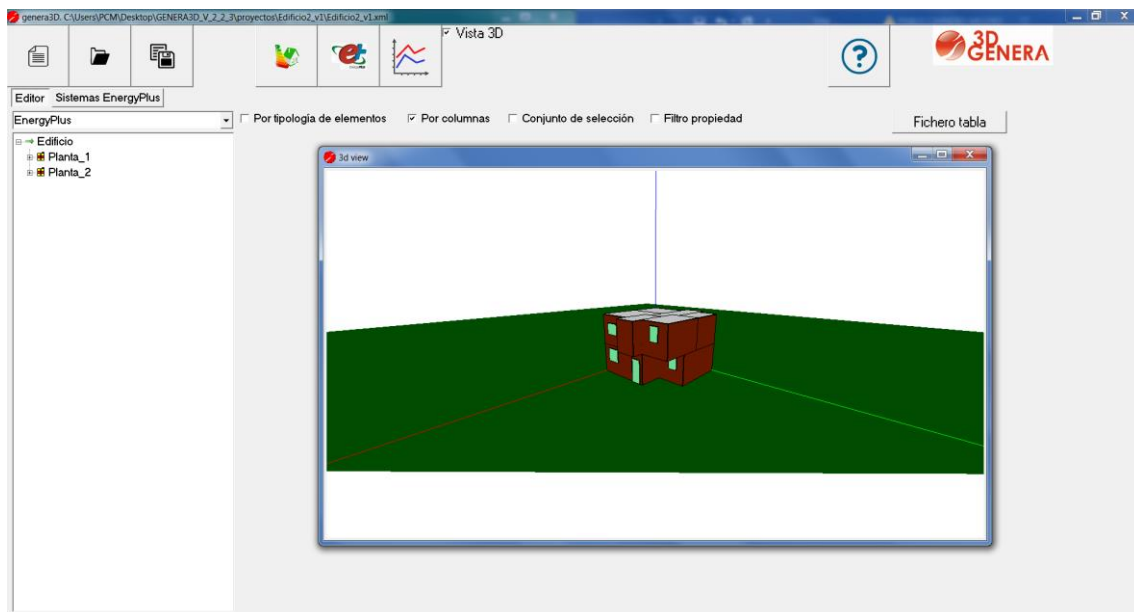


Figura 56. Ejemplo de definición geométrica en Genera 3D.

4.3.7.3. SOLICITACIONES INTERIORES

En el modelo, en formato *.idf, se ha definido todas las condiciones operacionales de referencia de acuerdo con lo mostrado en el *Anexo I. Generación del edificio de referencia*.

- **Termostatos.** Los termostatos coinciden enteramente con lo establecido en la reglamentación mostrada en el *Anexo I. Generación del edificio de referencia*.
- **Ocupación.** La ocupación coincide enteramente con lo establecido en la reglamentación mostrada en el *Anexo I. Generación del edificio de referencia*. En cuanto a la componente radiante, de la parte de calor sensible emitido, se adopta el valor de tipo 2 de 0,6 propuesto por el documento maestro.
- **Iluminación.** La iluminación coincide enteramente con lo establecido en la reglamentación mostrada en el *Anexo I. Generación del edificio de referencia*. En cuanto a la componente radiante, de la parte de calor sensible emitido, se adopta el valor de tipo 2 de 0,8 propuesto por el documento maestro.
- **Equipos.** La iluminación coincide enteramente con lo establecido en la reglamentación mostrada en el *Anexo I. Generación del edificio de referencia*. En cuanto a la componente radiante, de la parte de calor sensible emitido, se adopta el valor de tipo 2 de 0,7 propuesto por el documento maestro.

Las sombras se han generado mediante un elemento de oscurecimiento exterior a la ventana, con los períodos de aplicación y régimen diarios que establece la normativa, contemplando lo establecido en *Exposición* dentro del apartado de *Solicitaciones Interiores* en *Consideraciones de Programas Reconocidos*.

	Solicitaciones interiores de cálculo y condiciones operacionales			
	Perfil de uso en edificios de uso residencial	Período de aplicación de condiciones diferenciadas de los elementos de oscurecimiento y las protecciones solares móviles	Régimen diario y modo de operación de los elementos de oscurecimiento en edificios de uso residencial privado	Régimen diario de operación de las protecciones solares móviles
Modelo propio	Correcto	1 de junio a 30 de septiembre	Correcto	De día, sí; y de noche, no

Tabla 90. Tabla resumen sobre el tratamiento del Modelo propio a las Condiciones técnicas relativas a Solicitaciones interiores. Elaboración propia.

4.3.7.4. CONDICIONES DE CONTORNO EN LAS SUPERFICIES INTERIORES Y EXTERIORES

El modelo propio de radiación se define de tal modo que contemple la radiación del exterior, así como las posibles reflexiones que tengan lugar. El suelo se modela con reflectividad de 0,2 por defecto (US Department of Energy, 2010).

Las caras exteriores de los cerramientos de la envolvente del edificio definen los intercambios radiantes para con el exterior. En el modelo propio se ha definido los valores de absorptividad de radiación de los materiales exteriores a los muros y cubiertas en contacto con el exterior como 0,6, tal y como indica el valor de tipo 3 de la normativa. Define una emisividad de 0,9, tanto para muros exteriores como para cubiertas.

Condiciones de contorno en las superficies interiores y exteriores					
	Radiación solar reflejada por las superficies adyacentes	Absorción de radiación solar por el terreno	Absorción de radiación solar incidente en las superficies opacas exteriores	Intercambio radiante de onda larga entre las superficies exteriores del edificio y su entorno	Intercambio radiante de onda larga en las superficies exteriores del edificio y su entorno
	$\rho=0,2$	$\alpha=0,8$	$\alpha=0,6$	$\epsilon=1$	$\epsilon=0,9$
Modelo propio	No se modela	Correcto	Correcto	No se modela	Correcto

Tabla 91. Tabla resumen sobre el tratamiento del modelo propio a las Condiciones técnicas relativas a Condiciones de contorno en las superficies interiores y exteriores. Elaboración propia.

El programa, según se establece en el manual de procedimientos por defecto, y la definición del fichero de simulación asume que *“toda la radiación directa entrante en la zona se asume que cae sobre el suelo, donde es absorbida en función de la absorptividad solar del suelo”* (EnergyPlus, 2015).

El programa utiliza para los coeficientes de convección interiores el algoritmo TARP y para las exteriores el algoritmo SimpleCombined. En lo referente al balance de energía, hace uso del algoritmo en base a Funciones de Transferencia de Conducción.

En este modelo propio se ha recogido la forma de definir el mobiliario de CYPETHERM HE PLUS por ser sencillo y de acuerdo con la normativa de referencia.

Condiciones de contorno en las superficies interiores y exteriores					
	Transmisión de calor por convección en superficies exteriores del edificio	Tratamiento mixto del intercambio convectivo y radiante de onda larga en superficies exteriores del edificio	Radiación solar absorbida por las superficies interiores	Radiación solar absorbida por las superficies interiores	Radiación absorbida por las superficies interiores
	$h=20 \text{ W/(m}^2\text{K)}$	Valores según tabla 1 del DA DB-HE/1	$\alpha=0,6$	50%	0,3; 0,3; 0,07; y 0,33 respectivamente (ponderado por área)
Modelo propio	Algoritmo SimpleCombined	-	Solo en el suelo, correcto	Correcto	Todo el suelo

Tabla 92 (cont. Tabla 91). Tabla resumen sobre el tratamiento del modelo propio a las Condiciones técnicas relativas a Condiciones de contorno en las superficies interiores y exteriores. Elaboración propia.

Las fracciones radiantes de cada tipo de fuente interna son, como se ha mencionado en el apartado anterior, *Solicitaciones Interiores*, son idénticas a los parámetros por defecto ofrecidos por la normativa. La absorptividad, y por lo tanto la emisividad, de las superficies de cerramientos interiores queda fijada en 0,9.

Condiciones de contorno en las superficies interiores y exteriores						
	Absorción de radiación procedente de fuentes internas	Absorción de radiación procedente de fuentes internas	Intercambio radiante de onda larga entre las superficies interiores	Transmisión de calor por convección en superficies interiores	Tratamiento mixto del intercambio convectivo y radiante de onda larga en superficies interiores del edificio	Peso y calor específico del mobiliario en el interior del edificio de uso residencial privado
	Ocupantes: 0,6 Iluminación: 0,8 Equipos: 0,7	Proporcional a las áreas	$\epsilon=0,9$	$h=2 \text{ W/(m}^2\text{K)}$	Valores según tabla 1 del DA DB-HE/1	Calor específico: 1200 J/(kgK) Peso: 45 kg/m ²
Modelo propio	Correcto	Se asume	Correcto	Algoritmo TARP	-	Correcto

Tabla 93 (cont. Tabla 91). Tabla resumen sobre el tratamiento del modelo propio a las Condiciones técnicas relativas a Condiciones de contorno en las superficies interiores y exteriores. Elaboración propia.

4.3.7.5. TRANSMISIÓN Y RADIACIÓN EN CERRAMIENTOS OPACOS Y EL TERRENO

En el modelo propio generado no se ha podido asegurar ni cuáles son los valores por defecto relativos a las condiciones de transmisión de calor en el terreno, ni se han podido modificar.

En lo relativo a los cerramientos opacos, el Modelo propio del edificio tiene todas las condiciones constructivas de referencia, del mismo modo que tenía CYPETHERM HE PLUS. Se remite, por lo tanto, a las tablas desde la *Tabla 82* a la *Tabla 84* para mayor detalle. En cualquier caso, son las condiciones establecidas en el *Anexo I. Generación del edificio de referencia*.

Además de la definición sencilla y manejable de las características constructivas, se tiene la siguiente definición de los puentes térmicos en el edificio modelado. Las dimensiones de cada tipo de puente térmico han sido obtenidas mediante mediciones en los planos arquitectónicos, asumiendo que la solución de pilares respeta el aislamiento perimetral y, por lo tanto, puede ser despreciado su papel como transmisión de calor lineal.

Puentes térmicos	Modelo propio
Frente de forjado-fachada	24.1
Forjado de cubierta-fachada	29.78
Forjado de suelo al exterior-fachada	8.47
Esquina saliente	40.5
Esquina entrante	18.9
Hueco ventana	55.8
Pilar	0
Solera en contacto con terreno-pared exterior	23.17

Tabla 94. Desglose de longitudes de puentes térmicos normativos en Modelo propio. Elaboración propia

	Transmisión y radiación en cerramientos opacos y el terreno		
	Transmisión unidimensional por conducción	Transmisión bidimensional o tridimensional por conducción, puentes térmicos	Transmisión a través de cerramientos en contacto con el terreno
Modelo propio	Correcto	Correcto	Se desconoce

Tabla 95. Tabla resumen sobre el tratamiento del Modelo propio a las Condiciones técnicas relativas a Transmisión y radiación en cerramientos opacos y el terreno. Elaboración propia.

4.3.7.6. TRANSMISIÓN Y RADIACIÓN EN HUECOS

Para los huecos se tiene definida una transmitancia térmica de 3,5 W/m²K y factor solar de 0,76, coincidente con el valor que se establece en el *Anexo I. Generación del edificio de referencia*. De igual modo sucede con las puertas, definidas con 2,2 W/m²K y 0,70 de absorptividad.

	Transmisión y radiación en huecos			
	Transmisión por conducción en huecos	Absorción de radiación de onda corta en la superficie exterior de huecos semitransparentes y puertas	Modificación de la transmisión por conducción y factor solar en huecos con elementos de oscurecimiento durante el periodo de aplicación de condiciones diferenciadas, en edificios de uso residencial privado	Sombra de protecciones solares
Modelo propio	Correcto	Correcto	Correcto	Correcto

Tabla 96. Tabla resumen sobre el tratamiento del Modelo propio a las Condiciones técnicas relativas a Transmisión y radiación en huecos. Elaboración propia.

4.3.7.7. RENOVACIÓN DE AIRE

Para la modelización se ha seguido la solución de CYPETHERM HE PLUS, además se ha añadido un caudal de aire exterior adicional referente a la campana extractora. Para mayor concreción sobre los detalles de la renovación de aire, se remite al apartado asociado de *CYPETHERM HE Plus*.

	Renovación de aire					
	Escenarios de cálculo	Tasa de renovación de aire en zonas no habitables	Renovación de aire en zonas habitables de edificios con uso residencial privado	Infiltración por opacos	Infiltración por opacos	Infiltración por huecos
				n= 0,67	C	n= 0,67
Modelo propio	Según fichero climático	No aplica	Diferente del valor por defecto y del de DB-HS 3	Se desconoce	Se desconoce	Se desconoce

Tabla 97. Tabla resumen sobre el tratamiento del Modelo propio a las Condiciones técnicas relativas a Renovación de aire. Elaboración propia.

	Renovación de aire					
	Infiltración por huecos	Infiltración por aberturas de admisión	Infiltración por aberturas de admisión	Infiltración por aberturas de admisión	Coefficientes de presión	Exposición al viento
	C	n= 0,50	% apertura	C	Cp	%
Modelo propio	Correcto	No aplica	No aplica	No aplica	Modelados de un modo diferente	Se asume según geometría

Tabla 98 (cont. Tabla 97). Tabla resumen sobre el tratamiento del Modelo propio a las Condiciones técnicas relativas a Renovación de aire. Elaboración propia.

4.3.7.8. EQUIPOS

En este punto del análisis no se considera equipos concretos, tampoco se ha incluido en el *Capítulo 5. Aplicación de bomba de calor*.

4.3.7.9. RESULTADOS

Finalmente, el Modelo propio arroja los siguientes resultados.

District Cooling Intensity [kWh/m2]	District Heating Intensity [kWh/m2]
0.00	0.00
19.35	158.32

Tabla 99. Resultados arrojados en el informe *.html de EnergyPlus del Modelo propio para la vivienda unifamiliar.

Si se deja el modelo como se ha definido, pero se hace uso de los ficheros climáticos no oficiales y usados por SG-SAVE y CYPETHERM HE PLUS, se tiene lo siguiente.

District Cooling Intensity [kWh/m2]	District Heating Intensity [kWh/m2]
0.00	0.00
28.16	146.82

Tabla 100. Resultados arrojados en el informe *.html de EnergyPlus del Modelo propio para la vivienda unifamiliar con los ficheros climáticos erróneos.

Se observa la magnitud del error cometido por la utilización de un fichero climático que no es el que debería ser utilizado.

District Cooling Intensity [kWh/m2]	District Heating Intensity [kWh/m2]
0.00	0.00
9.58	71.84

Tabla 101. Resultados arrojados en el informe *.html de EnergyPlus del Modelo propio para las viviendas en bloque.

4.3.8. COMPARATIVA

A continuación, se muestra un análisis de las condiciones técnicas de cada programa en conjunto, así como una posterior discusión de los resultados de los cálculos de demanda energética de cada uno de los softwares contemplados en el trabajo.

4.3.8.1. ANÁLISIS DE CONDICIONES TÉCNICAS

Se tiene un desglose a continuación de las consideraciones técnicas de cada uno de los programas considerados en el análisis. Se ha tratado de ser lo más ecuánime posible en la comparativa, tratando de simular el mismo caso en cada software. Sin embargo, tal y como se expuso en el *Capítulo 3. Simulación energética* no siempre es posible, debido a los principios de funcionamiento de cada software. Cuando no ha sido posible, se ha indicado con la etiqueta “No se modela”.

4.3.8.1.1. SOLICITACIONES EXTERIORES

Se muestra a continuación el desglose resumido del tratamiento de cada programa analizado respecto a las solicitudes exteriores.

	Solicitaciones exteriores		
	Caracterización climática	Datos climáticos normativos	Otros datos climáticos
HULC	Utiliza el concepto de zona climática	Contempla directamente dos de tres datos climáticos determinantes	Contempla directamente todos los datos climáticos no determinantes
CE3	Utiliza el concepto de zona climática	Contempla directamente dos de tres datos climáticos determinantes	Contempla directamente todos los datos climáticos no determinantes
CE3X	-	-	-
CERMA	Utiliza el concepto de zona climática	Contempla directamente dos de tres datos climáticos determinantes	Contempla directamente tres de seis datos climáticos no determinantes
SG-SAVE	Utiliza el concepto de zona climática	Contempla directamente dos de tres datos climáticos determinantes	Contempla directamente tres de seis datos climáticos no determinantes
CYPETHERM HE PLUS	Utiliza el concepto de zona climática	Contempla directamente dos de tres datos climáticos determinantes	Contempla directamente tres de seis datos climáticos no determinantes
Modelo propio	Utiliza el concepto de zona climática	Contempla directamente todos los datos climáticos determinantes	Contempla directamente todos los datos climáticos no determinantes

Tabla 102. Comparativa entre los programas considerados para las Solicitaciones exteriores. Elaboración propia.

Se observa que todos los softwares que realizan una simulación energética hacen uso del concepto de zona climática. Únicamente el Modelo propio hace uso de la totalidad de datos climáticos, tanto los determinantes como los no determinantes. Además, como se expone en el *Anexo II. Ficheros Climáticos*, únicamente dicho modelo utiliza los archivos climáticos normativos.

4.3.8.1.2. SOLICITACIONES INTERIORES Y CONDICIONES OPERACIONALES

Se muestra a continuación el desglose resumido del tratamiento de cada programa analizado respecto a las solicitudes interiores y condiciones operacionales.

	Solicitaciones interiores de cálculo y condiciones operacionales			
	Perfil de uso en edificios de uso residencial	Período de aplicación de condiciones diferenciadas de los elementos de oscurecimiento y las protecciones solares móviles	Régimen diario y modo de operación de los elementos de oscurecimiento en edificios de uso residencial privado	Régimen diario de operación de las protecciones solares móviles
HULC	Correcto	1 de junio a 30 de septiembre	Correcto	De día, sí; y de noche, no
CE3	Correcto	1 de junio a 30 de septiembre	Correcto	De día, sí; y de noche, no
CE3X	-	-	-	-
CERMA	Correcto	1 de junio a 30 de septiembre	Correcto	De día, sí; y de noche, no
SG-SAVE	Incorrecto	1 de junio a 30 de septiembre	Incorrecto	De día, sí; y de noche, no
CYPETHERM HE PLUS	Correcto	1 de junio a 30 de septiembre	Incorrecto	De día, sí; y de noche, no
Modelo propio	Correcto	1 de junio a 30 de septiembre	Correcto	De día, sí; y de noche, no

Tabla 103. Comparativa entre los programas considerados para las Solicitaciones interiores y condiciones operacionales. Elaboración propia.

Se tiene un cumplimiento de las condiciones técnicas, expuestas en el documento maestro (Ministerio de Industria Energía y Turismo, 2015b), prácticamente total. Los únicos programas que fallan son CYPETHERM HE PLUS y SG-SAVE. El primero, como se mencionó en el apartado *Solicitaciones Interiores* asociado, falla a la hora de sombrear únicamente el 30% del área de las ventanas. SG-SAVE, por otro lado, no asigna los elementos de persiana a ninguna ventana, por eso se ha indicado lo propio en la *Tabla 108*.

4.3.8.1.3. CONDICIONES DE CONTORNO EN LAS SUPERFICIES INTERIORES Y EXTERIORES

Se muestra a continuación el desglose resumido del tratamiento de cada programa analizado respecto a las condiciones de contorno en las superficies interiores y exteriores.

	Condiciones de contorno en las superficies interiores y exteriores				
	Radiación solar reflejada por las superficies adyacentes	Absorción de radiación solar por el terreno	Absorción de radiación solar incidente en las superficies opacas exteriores	Intercambio radiante de onda larga entre las superficies exteriores del edificio y su entorno	Intercambio radiante de onda larga en las superficies exteriores del edificio y su entorno
	$\rho=0,2$	$\alpha=0,8$	$\alpha=0,6$	$\epsilon=1$	$\epsilon=0,9$
HULC	Correcto	Correcto	Correcto	Correcto	Correcto
CE3	Correcto	Correcto	Correcto	Correcto	Correcto
CE3X	-	-	-	-	-
CERMA	Correcto	Correcto	Correcto	Correcto	Correcto
SG-SAVE	No se modela	Correcto	$\alpha=0,7$	$\epsilon=0,9$	Correcto
CYPETHERM HE PLUS	No se modela	Correcto	$\alpha=0$ para muros. $\alpha=0,6$ para cubiertas.	No se modela	Correcto
Modelo propio	No se modela	Correcto	Correcto	No se modela	Correcto

Tabla 104. Comparativa entre los programas considerados para las Condiciones de contorno en las superficies interiores y exteriores. Elaboración propia.

Se tiene una variación en las condiciones técnicas consideradas, en función del modelo elegido. Se tiene un defecto en el modelado de según qué elementos radiantes en los programas basados en el motor de EnergyPlus. Se ha sido conservador y hay elementos que no se han modelado, como la reflexión de superficies adyacentes o el entorno. Ha habido valores que no ha sido posible determinar, puesto que no son facilitados por los manuales o el propio programa. Por lo tanto, cuando aparece “No se modela” en SG-SAVE, CYPETHERM HE PLUS o Modelo propio se debe considerar que no se ha incluido en el modelo, no que el programa sea incapaz de hacerlo.

Condiciones de contorno en las superficies interiores y exteriores					
	Transmisión de calor por convección en superficies exteriores del edificio	Tratamiento mixto del intercambio convectivo y radiante de onda larga en superficies exteriores del edificio	Radiación solar absorbida por las superficies interiores	Radiación solar absorbida por las superficies interiores	Radiación absorbida por las superficies interiores
	$h=20 \text{ W/(m}^2\text{K)}$	Valores según tabla 1 del DA DB-HE/1	$\alpha=0,6$	50%	0,3; 0,3; 0,07; y 0,33 respectivamente (ponderado por área)
HULC	Correcto	Correcto	Correcto	Correcto	Correcto
CE3	Correcto	Correcto	Correcto	Correcto	Correcto
CE3X	-	-	-	-	-
CERMA	Correcto	Correcto	Correcto	Correcto	Correcto
SG-SAVE	Algoritmo DOE-2	-	Solo en el suelo, $\alpha=0,7$	0%	Todo el suelo
CYPETHERM HE PLUS	Correcto	-	Solo en el suelo, correcto	Correcto	Todo el suelo
Modelo propio	Algoritmo SimpleCombined	-	Solo en el suelo, correcto	Correcto	Todo el suelo

Tabla 105 (cont. Tabla 104). Comparativa entre los programas considerados para las Condiciones de contorno en las superficies interiores y exteriores. Elaboración propia.

Se observa que se tiene un cumplimiento general de lo expuesto en la *Tabla 105*, yendo más allá en algunos casos, al utilizar algoritmos más complejos para la determinación de los coeficientes de convección, por ejemplo. Llama la atención que el software CYPETHERM HE PLUS, teniendo las posibilidades que brinda trabajar con EnergyPlus como motor de cálculo, opte por utilizar coeficientes de convección constantes, más aún siendo estos unos valores de tipo 2 según la normativa.

Condiciones de contorno en las superficies interiores y exteriores						
	Absorción de radiación procedente de fuentes internas	Absorción de radiación procedente de fuentes internas	Intercambio radiante de onda larga entre las superficies interiores	Transmisión de calor por convección en superficies interiores	Tratamiento mixto del intercambio convectivo y radiante de onda larga en superficies interiores del edificio	Peso y calor específico del mobiliario en el interior del edificio de uso residencial privado
	Ocupantes: 0,6 Iluminación: 0,8 Equipos: 0,7	Proporcional a las áreas	$\epsilon=0,9$	$h=2 \text{ W/(m}^2\text{K)}$	Valores según tabla 1 del DA DB-HE/1	Calor específico: 1200 J/(kgK) Peso: 45 kg/m ²
HULC	Correcto	Correcto	Correcto	Correcto	Correcto	Correcto
CE3	Ocupantes: 0,3 Iluminación: 0,8 Equipos: 0,7	Se asume	Correcto	Algoritmo TARP	-	Calor específico: 1200 J/(kgK) Peso: 100 kg/m ²
CE3X	-	-	-	-	-	-
CERMA	Ocupantes: 0,4 Iluminación: 0,8 Equipos: 0,7	Correcto	Correcto	Correcto	-	Calor específico: 1225 J/(kgK) Peso: 6.25 kg/m ²
SG-SAVE	Ocupantes: 0,3 Iluminación: 0,8 Equipos: 0,7	Se asume	Correcto	Algoritmo TARP	-	Calor específico: 1200 J/(kgK) Peso: 100 kg/m ²
CYPETHERM HE PLUS	Correcto	Se asume	Correcto	Correcto	-	Correcto
Modelo propio	Correcto	Se asume	Correcto	Algoritmo TARP	-	Correcto

Tabla 106 (cont. Tabla 104). Comparativa entre los programas considerados para las Condiciones de contorno en las superficies interiores y exteriores. Elaboración propia.

Se tiene una diferencia considerable en el programa CE3, CERMA y SG-SAVE en el desglose radiante de las fuentes internas. Sin embargo, se trata de datos de tipo 2. Donde existe una diferencia considerable es en la definición del mobiliario, de tipo 1, el cual únicamente se cumple para CYPETHERM HE PLUS y para el Modelo propio. Esta diferencia no debería existir de ningún modo entre los softwares.

4.3.8.1.4. TRANSMISIÓN Y RADIACIÓN EN CERRAMIENTOS OPACOS Y EL TERRENO

Se muestra a continuación el desglose resumido del tratamiento de cada programa analizado respecto a la transmisión y radiación en cerramientos opacos y el terreno.

	Transmisión y radiación en cerramientos opacos y el terreno		
	Transmisión unidimensional por conducción	Transmisión bidimensional o tridimensional por conducción, puentes térmicos	Transmisión a través de cerramientos en contacto con el terreno
HULC	Correcto	Correcto	Correcto
CE3	Correcto	Simplificado	Correcto
CE3X	-	-	-
CERMA	Correcto	Simplificado	Correcto
SG-SAVE	Correcto	Incorrecto, no se modela	Correcto
CYPETHERM HE PLUS	Correcto	Correcto	Correcto, al menos, parcialmente
Modelo propio	Correcto	Correcto	Se desconoce

Tabla 107. Comparativa entre los programas considerados para la Transmisión y radiación en cerramientos opacos y el terreno. Elaboración propia.

Se tiene el flagrante error que comete SG-SAVE al no considerar los puentes térmicos en la generación del edificio de referencia automático. Se trata de un dato de tipo 3, modificable, pero no tiene sentido que se sustituya por un valor nulo.

4.3.8.1.5. TRANSMISIÓN Y RADIACIÓN EN HUECOS

Se muestra a continuación el desglose resumido del tratamiento de cada programa analizado respecto a la transmisión y radiación en huecos.

	Transmisión y radiación en huecos			
	Transmisión por conducción en huecos	Absorción de radiación de onda corta en la superficie exterior de huecos semitransparentes y puertas	Modificación de la transmisión por conducción y factor solar en huecos con elementos de oscurecimiento durante el periodo de aplicación de condiciones diferenciadas, en edificios de uso residencial privado	Sombra de protecciones solares
HULC	Correcto	Correcto	Correcto	Correcto
CE3	Correcto	Correcto	Correcto	Riesgo de fraude
CE3X	-	-	-	-
CERMA	Correcto	Correcto	Correcto	Correcto
SG-SAVE	Correcto	Correcto	Incorrecto, no se aplica	Correcto
CYPETHERM HE PLUS	Correcto	Correcto	Correcto	Correcto
Modelo propio	Correcto	Correcto	Correcto	Correcto

Tabla 108. Comparativa entre los programas considerados para la Transmisión y radiación en huecos. Elaboración propia.

Como se expuso en el apartado de *Solicitaciones interiores y condiciones operacionales*, SG-SAVE comete el error de no contemplar los elementos de sombreado, dado que no los asigna a ninguna ventana. El otro comentario se dirige a CE3, dado que las sombras de protecciones solares adicionales son susceptibles de ser riesgo de fraude intencionado a la hora de realizar la calificación energética del edificio.

4.3.8.1.6. RENOVACIÓN DE AIRE

Se muestra a continuación el desglose resumido del tratamiento de cada programa analizado respecto a la renovación de aire.

	Renovación de aire					
	Escenarios de cálculo	Tasa de renovación de aire en zonas no habitables	Renovación de aire en zonas habitables de edificios con uso residencial privado	Infiltración por opacos	Infiltración por opacos	Infiltración por huecos
				n= 0,67	C	n= 0,67
HULC	Correcto	No aplica	Diferente del valor por defecto y del de DB-HS 3	Correcto	Correcto	Correcto
CE3	Correcto	No aplica	Diferente del valor por defecto y del de DB-HS 3	Correcto	Correcto	Correcto
CE3X	-	-	-	-	-	-
CERMA	Correcto	No aplica	Diferente del valor por defecto y del de DB-HS 3	Correcto	Correcto	Correcto
SG-SAVE	Según fichero climático	No aplica	Diferente del valor por defecto y del de DB-HS 3	Se desconoce	Se desconoce	Se desconoce
CYPETHERM HE PLUS	Según fichero climático	No aplica	Diferente del valor por defecto y del de DB-HS 3	Se desconoce	C=16 m ³ /(h·m ²) (a 100 Pa)	Se desconoce
Modelo propio	Según fichero climático	No aplica	Diferente del valor por defecto y del de DB-HS 3	Se desconoce	Se desconoce	Se desconoce

Tabla 109. Comparativa entre los programas considerados para la Renovación de aire. Elaboración propia.

	Renovación de aire					
	Infiltración por huecos	Infiltración por aberturas de admisión	Infiltración por aberturas de admisión	Infiltración por aberturas de admisión	Coefficientes de presión	Exposición al viento
	C	n= 0,50	% apertura	C	Cp	%
HULC	Correcto	No aplica	No aplica	No aplica	Correcto	Se asume según geometría
CE3	Correcto	No aplica	No aplica	No aplica	Correcto	Se asume según geometría
CE3X	-	-	-	-	-	-
CERMA	Correcto	No aplica	No aplica	No aplica	Correcto	50% barlovento; 50% sotavento
SG-SAVE	Correcto	No aplica	No aplica	No aplica	Se desconoce	Se asume según geometría
CYPETHERM HE PLUS	Correcto	No aplica	No aplica	No aplica	Modelados de un modo diferente	Se asume según geometría
Modelo propio	Correcto	No aplica	No aplica	No aplica	Modelados de un modo diferente	Se asume según geometría

Tabla 110 (cont. Tabla 109). Comparativa entre los programas considerados para la Renovación de aire. Elaboración propia.

Los escenarios de cálculo relativos a la renovación de aire son más adecuados para los programas que utilizar EnergyPlus como motor de cálculo, dado que hacen uso de las variables del fichero climático. Por otro lado, se tiene que el modelado de las infiltraciones y renovaciones de aire en los programas SG-SAVE, CYPETHERM HE PLUS y el Modelo propio es mucho más complejo que en el resto de los programas, por lo que resulta muy complicado establecer una comparativa directa con el trabajo que realiza HULC, por ejemplo. Sin embargo, en CYPETHERM HE PLUS y en el Modelo propio, el modelado de los flujos de aire en el edificio es mucho más complejo, contemplando temperaturas y otras variables ambientales. Se asume mucho más preciso que el resto de los modelados del aire de los programas considerados.

4.3.8.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Es evidente, tras las diferentes simulaciones llevadas a cabo con cada uno de los programas reconocidos, que existen diferencias en la definición de un mismo edificio, según el software que se utilice. Se ha expuesto la información que se permite introducir a cada una de las herramientas, así como una breve descripción sobre su principio de funcionamiento. El resultado final es que una persona que desee modelar un edificio y acuda a los programas reconocidos, partiendo de la misma información constructiva, conseguirá diferentes resultados dependiendo de qué programa utilice.

Programa utilizado	Vivienda unifamiliar		Viviendas en bloque	
	Demanda anual de calefacción (kWh/m ²)	Demanda anual de refrigeración (kWh/m ²)	Demanda anual de calefacción (kWh/m ²)	Demanda anual de refrigeración (kWh/m ²)
HULC	94.71	19.27	31.05	14.25
CE3	76.27	22.45	22.29	24.18
CE3_1	76.05	24.01	45.7	40.21
CE3X	139.9	9	-	-
CERMA	95.9	30.5	17.8	12.4
SG-SAVE	122.05	46.06	38.07	23.01
CYPETHERM	88.37	14.93	45.15	15.33
Modelo propio	118.55	10.89	9.58	71.84
Modelo propio-RV	113.08	17.9	13.17	66.67

Tabla 111. Comparativa de resultados de demanda de programas analizados. Elaboración propia.

Con el programa CE3 se ha llevado a cabo dos casos, *CE3* tiene la geometría incluida mediante planos y *CE3_1* tiene la geometría incluida mediante superficies y orientaciones. Por otro lado, el caso del *Modelo propio* tiene el fichero normativo y *Modelo propio-RV* tiene los ficheros climáticos que utiliza tanto SG-SAVE como CYPETHERM HE PLUS, realizados por Rafael Villar Burke.

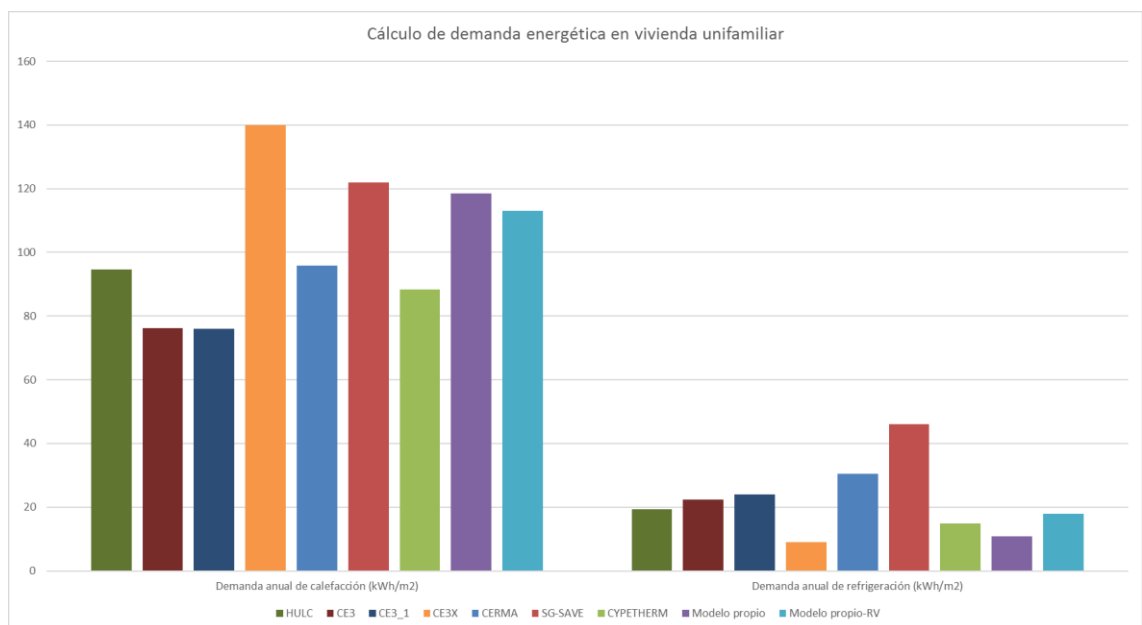


Gráfico 1. Comparativa de resultados de demanda de programas analizados para la vivienda unifamiliar. Elaboración propia.

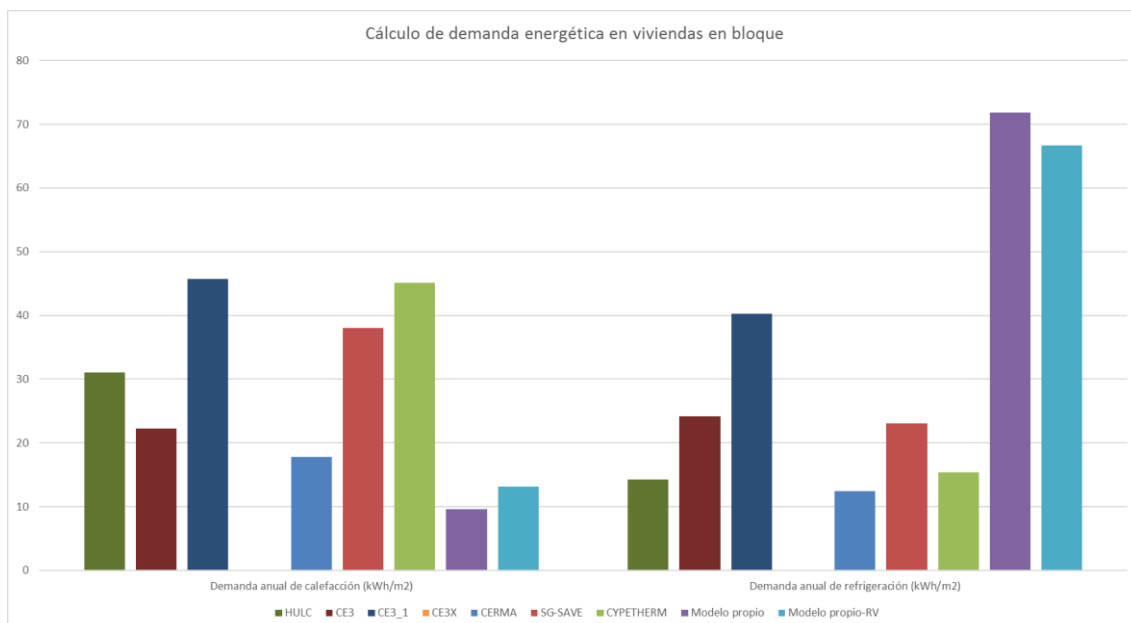


Gráfico 2. Comparativa de resultados de demanda de programas analizados para las viviendas en bloque. Elaboración propia.

Según la documentación de referencia sobre las condiciones de aceptación de procedimientos alternativos a HULC, “sus resultados en todas las comparaciones anteriores tendrán que encontrarse dentro de una banda de ancho de un $\pm 15\%$ del resultado dado por el programa LIDER” (IDAE, 2009b). El desglose de errores relativos respecto a HULC de los programas considerados es el siguiente.

Programa utilizado	Vivienda unifamiliar		Viviendas en bloque	
	Error relativo en la demanda anual de calefacción	Error relativo en la demanda anual de refrigeración	Error relativo en la demanda anual de calefacción	Error relativo en la demanda anual de refrigeración
HULC	-	-	-	-
CE3	-19.5%	16.5%	-28.2%	69.7%
CE3_1	-19.7%	24.6%	47.2%	182.2%
CE3X	47.7%	-53.3%	-	-
CERMA	1.3%	58.3%	-42.7%	-13.0%
SG-SAVE	28.9%	139.0%	22.6%	61.5%
CYPETHERM	-6.7%	-22.5%	45.4%	7.6%
Modelo propio	25.2%	-43.5%	-69.1%	404.1%
Modelo propio-RV	19.4%	-7.1%	-57.6%	367.9%

Tabla 112. Errores relativos comparando con HULC de los programas analizados. Elaboración propia.

Se observa como el programa que menos se desvía en los resultados obtenidos por el programa de referencia, HULC, en el cálculo de la demanda anual de calefacción para la vivienda unifamiliar, es CERMA con un error de +1,3%. También, CYPETHERM HE PLUS comete una minoración relativa del 6,7%. Mientras que el programa CE3X, el único de los contemplados que no realiza simulación energética alguna, comete un error relativo de 47,7% de exceso. Para el cálculo de refrigeración se tiene que el menor error lo comete el Modelo propio con los ficheros climáticos incorrectos, con un 7,1%; en este caso es SG-SAVE quien comete un mayor error en la determinación de la demanda estudiada, con un +139,0%. Llamativo es que utilizando CE3X, un programa simplificado, se obtenga una demanda de refrigeración asociada a una calificación energética A, frente a una demanda con HULC de más del doble.

Para las viviendas en bloque, el cálculo de demanda de calefacción más ajustado lo hace SG-SAVE, con un +22,6%, y para la refrigeración es CYPETHERM HE PLUS, con +7,6%. También se tiene CERMA con un error aceptable, de -13,0%. Quien más se aleja es el Modelo propio, en cualquier caso, respectivamente. Conviene recordar, que el Modelo propio utiliza unos ficheros climáticos diferentes que el resto.

Resulta llamativo que las similitudes no sean coherentes con los casos de vivienda unifamiliar y de viviendas en bloque. Este trabajo pretende ilustrar la disparidad en la multitud de aspectos normativos y no normativos, que irremediablemente causan las variaciones en los resultados. Muchas diferencias y errores de definición pueden llegar a cancelarse, como en el caso de SG-SAVE, consiguiendo resultados favorables en la demanda de calefacción para las viviendas en bloque respecto a HULC.

El programa reconocido que hace una mejor valoración de los parámetros normativos y tiene un motor de referencia detrás del cálculo es CYPETHERM HE PLUS, tal y como se ha podido ver en el desglose del trabajo. Sin embargo, comete un error importante a la hora del sombreado de las ventanas y, sobre todo, en el uso de los ficheros climáticos, como el resto de los programas reconocidos.

CYPETHERM HE PLUS se considera el mejor en la comparativa y, sin embargo, SG-SAVE, pese a estar basado en el motor de cálculo EnergyPlus, no hace un trabajo especialmente bueno, consiguiendo errores respecto a HULC muy elevados en algunos casos. Se trata de una muestra notable que el motor de cálculo no tiene porqué significar un buen funcionamiento en cuanto a la parametrización energética de un edificio.

Por lo tanto, como conclusión de la comparativa en el cálculo de demanda, se tiene que debería ser CYPETHERM HE PLUS, subsanando los errores en la definición de las sombras, el nuevo programa reconocido de referencia. Si se toma CYPETHERM HE PLUS como referencia de la comparación se tiene lo siguiente.

Programa utilizado	Vivienda unifamiliar		Viviendas en bloque	
	Error relativo en la demanda anual de calefacción	Error relativo en la demanda anual de refrigeración	Error relativo en la demanda anual de calefacción	Error relativo en la demanda anual de refrigeración
HULC	7.2%	29.1%	-31.2%	-7.0%
CE3	-13.7%	50.4%	-50.6%	57.7%
CE3_1	-13.9%	60.8%	1.2%	162.3%
CE3X	58.3%	-39.7%	-	-
CERMA	8.5%	104.3%	-60.6%	-19.1%
SG-SAVE	38.1%	208.5%	-15.7%	50.1%
CYPETHERM	-	-	-	-
Modelo propio	34.2%	-27.1%	-78.8%	368.6%
Modelo propio-RV	28.0%	19.9%	-70.8%	334.9%

Tabla 113. Errores relativos comparando con CYPETHERM HE PLUS de los programas analizados. Elaboración propia.

Desde el punto de vista de quien suscribe el trabajo, la solución más acertada hasta la fecha para la caracterización de la demanda energética de un modo ajustado a la normativa y, trasasándola, en aquellos puntos en los que se puede mejorar, es el Modelo propio. También es importante destacar que la norma UNE-EN ISO 13790, referenciada por el documento maestro anterior, establece que *“se facilitan procedimientos para la utilización de métodos más detallados de simulación para asegurar la compatibilidad y consistencia entre la aplicación y los resultados de los diferentes métodos. Esta norma internacional proporciona, por ejemplo, las*

reglas generales para las condiciones de contorno y los datos físicos de entrada, con independencia del tipo de cálculo elegido” (AENOR, 2011).

Las comparativas respecto al Modelo propio, son las siguientes.

Programa utilizado	Vivienda unifamiliar		Viviendas en bloque	
	Error relativo en la demanda anual de calefacción	Error relativo en la demanda anual de refrigeración	Error relativo en la demanda anual de calefacción	Error relativo en la demanda anual de refrigeración
HULC	-20.1%	77.0%	224.1%	-80.2%
CE3	-35.7%	106.2%	132.7%	-66.3%
CE3_1	-35.8%	120.5%	377.0%	-44.0%
CE3X	18.0%	-17.4%	-	-
CERMA	-19.1%	180.1%	85.8%	-82.7%
SG-SAVE	3.0%	323.0%	297.4%	-68.0%
CYPETHERM	-25.5%	37.1%	371.3%	-78.7%
Modelo propio	-	-	-	-

Tabla 114. Errores relativos comparando con el Modelo propio de los programas analizados. Elaboración propia.

Es importante remarcar que no se está haciendo uso de los mismos ficheros climáticos y que algunas similitudes se basan en meros errores aleatorios que causan una cercanía ficticia en los resultados. Esta aleatoriedad se observa a la hora de comparar el programa más cercano al Modelo propio en la simulación del edificio unifamiliar y las viviendas en bloque; de igual modo que en los cálculos de calefacción y refrigeración.

Para tratar de tener una comparativa más representativa en el modelo del edificio, tratando de reducir al mínimo las diferencias en cuanto a los ficheros climáticos, se muestra a continuación una comparativa respecto al Modelo propio-RV.

Programa utilizado	Vivienda unifamiliar		Viviendas en bloque	
	Error relativo en la demanda anual de calefacción	Error relativo en la demanda anual de refrigeración	Error relativo en la demanda anual de calefacción	Error relativo en la demanda anual de refrigeración
HULC	-16.2%	7.7%	135.8%	-78.6%
CE3	-32.6%	25.4%	69.2%	-63.7%
CE3_1	-32.7%	34.1%	247.0%	-39.7%
CE3X	23.7%	-49.7%	-	-
CERMA	-15.2%	70.4%	35.2%	-81.4%
SG-SAVE	7.9%	157.3%	189.1%	-65.5%
CYPETHERM	-21.9%	-16.6%	242.8%	-77.0%
Modelo propio-RV	-	-	-	-

Tabla 115. Errores relativos comparando con el Modelo propio-RV de los programas analizados. Elaboración propia.

CAPÍTULO 5. APLICACIÓN DE BOMBA DE CALOR

5.1. INTRODUCCIÓN

Este capítulo va a centrarse en el modelado de una bomba de calor aire-aire únicamente para la vivienda unifamiliar. El objetivo es comparar el nivel de detalle que consigue cada uno de los programas de estudio a la hora de la simulación de un sistema de climatización concreto.

Para tratar de tener una igualdad en la definición de los equipos, se va a definir un sistema típico de climatización por conductos para todo el edificio. Esta instalación está alimentada por un equipo autónomo de bomba de calor. Las potencias que se consideran son 10 kW de potencia pico para calefacción y refrigeración, con una capacidad de refrigeración sensible de un 65% la capacidad total. Se asumen un COP y EER nominales de 2.

Para equiparar los valores de consumo de energía final, se define el sistema de referencia de una caldera de gas natural con un rendimiento nominal del 92% y una potencia pico de 10 kW. Se asume que la demanda de ACS máxima será satisfecha por el sistema, obviando la cobertura por solar térmica, según la legislación de 2013, y de cualquier renovable, según el borrador del CTE para 2018. Los detalles de la demanda de ACS, bajo las condiciones de referencia, se observan en el *Anexo I. Generación del edificio de referencia*. Se tiene desglosado en todos los programas, el consumo de calefacción, refrigeración y ACS separado. De todos modos, se define con las condiciones de referencia.

5.2. HULC

Los programas basados en el motor DOE2 realizan un desacople del cálculo de demanda energética y consumo de energía final; tratan por un lado la respuesta del edificio en sí mismo y, posteriormente, la de los sistemas de climatización. La razón de ser de este tratamiento de la energética del edificio se expone con más detalle en los primeros párrafos del apartado llamado *Desarrollo futuro, DEVS*. en el *Capítulo 6. Conclusiones*.

Se fija la temperatura del aire de las zonas controladas en la que establezca la consigna y se resuelve el balance de energía en el aire, obteniendo la potencia que debería satisfacer un equipo de climatización ficticio de potencia infinita. Ese valor es el que se considera como la demanda horaria que debe ser satisfecha para que el balance de energía se cumpla. A continuación, se repite el cálculo, pero considerando las capacidades de potencia reales y finitas de los equipos de climatización instalados. En esta ocasión se puede modificar la temperatura del aire de las zonas controladas; sin embargo, no se realimenta el cálculo inicial con los nuevos valores de temperatura interior. Dicho de otro modo, la demanda del edificio es diferente cuando no se mantiene una temperatura igual a la consigna en el aire interior de una zona; este paso se obvia, asumiendo que el edificio se comporta igual a como se comportaba cuando la

temperatura del aire era la consigna establecida. Este modo de trabajo consigue una rapidez de cálculo muy elevada, a costa de reducir el rigor de la simulación energética.

5.2.1. DEFINICIÓN

Se accede al apartado de sistemas del programa y se selecciona el sistema deseado. Se definen cuatro bocas de impulsión para el salón-comedor de la planta baja y otras tres para las dos habitaciones individuales y para la doble. Las características del sistema definido son las siguientes.

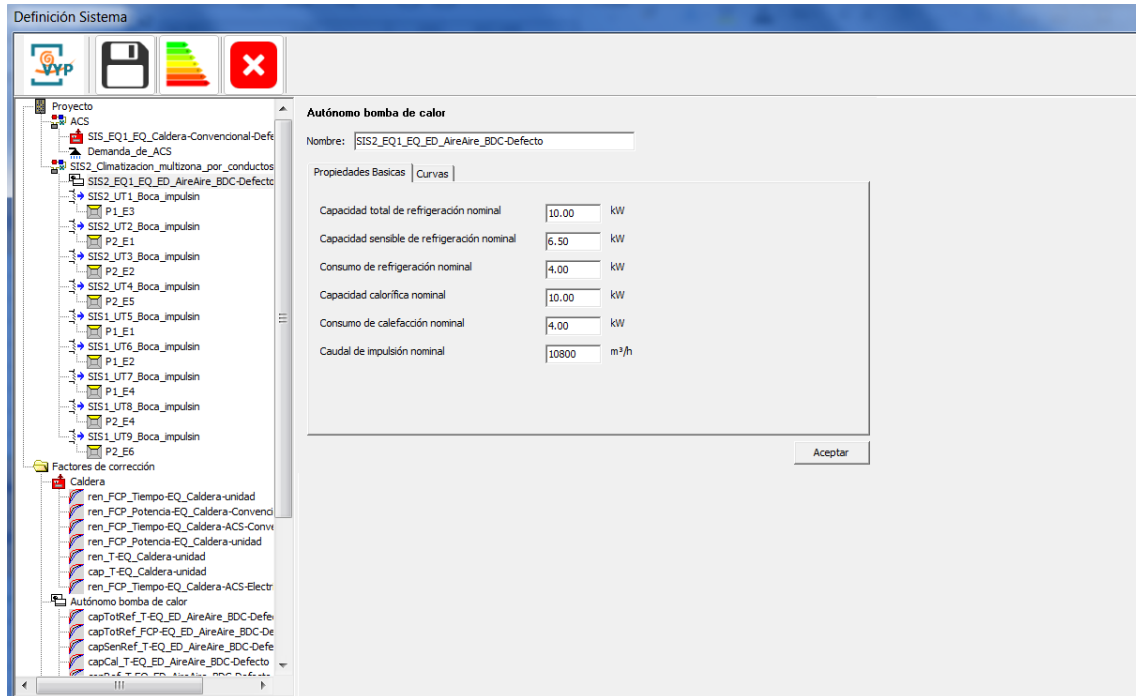


Figura 57. Información por defecto de conductos con bomba de calor aire-aire. HULC.

5.2.2. RESULTADOS

Los resultados obtenidos son los siguientes, en cuanto a consumo de energía.

Programa utilizado	Vivienda unifamiliar		Vivienda unifamiliar	
	Energía final (kWh/m2)		Energía primaria no renovable (kWh/m2)	
	Calefacción anual	Refrigeración anual	Calefacción anual	Refrigeración anual
HULC	70.1	14.3	131.7	27.9

Tabla 116. Resultados de consumo energía para el sistema de la vivienda unifamiliar. HULC.

El rendimiento medio estacional que se define, según las correlaciones internas del programa, es de 1,35, para calefacción y refrigeración.

5.3. CE3

Para CE3, dado que es un programa basado también en DOE2, se puede establecer una consideración completamente análoga respecto al desglose del cálculo de demanda y del cálculo de consumo en los sistemas de climatización.

5.3.1. DEFINICIÓN

Se accede al apartado de *sistemas de acondicionamiento* y se selecciona el sistema deseado para calefacción y para refrigeración. La definición del sistema se basa únicamente en potencias máximas y rendimientos, la localización de las bocas de impulsión del sistema se estima mediante el parámetro de porcentaje de superficie acondicionada, el 100% en este caso. Las características del sistema definido son las siguientes.

Figura 58. Información por defecto de conductos con bomba de calor aire-aire. CE3.

5.3.2. RESULTADOS

Los resultados obtenidos son los siguientes, en cuanto a consumo de energía.

Programa utilizado	Vivienda unifamiliar		Vivienda unifamiliar	
	Energía final (kWh/m ²)		Energía primaria no renovable (kWh/m ²)	
	Calefacción anual	Refrigeración anual	Calefacción anual	Refrigeración anual
CE3	64.49	15.18	126.02	29.67

Tabla 117. Resultados de consumo energía para el sistema de la vivienda unifamiliar. CE3.

El rendimiento medio estacional que se define, según las correlaciones internas del programa, son 1,18 y 1,48, para calefacción y refrigeración, respectivamente.

5.4. CE3X

No existe un desacople del cálculo de demanda y consumo, dado que no se produce en este programa simulación energética alguna.

5.4.1. DEFINICIÓN

Se accede al apartado de instalaciones y se selecciona el sistema deseado para calefacción y para refrigeración. La definición del sistema se basa únicamente en rendimientos, la localización de las bocas de impulsión del sistema se estima mediante el parámetro de porcentaje de superficie acondicionada, 100% en este caso. Las características del sistema definido son las siguientes.

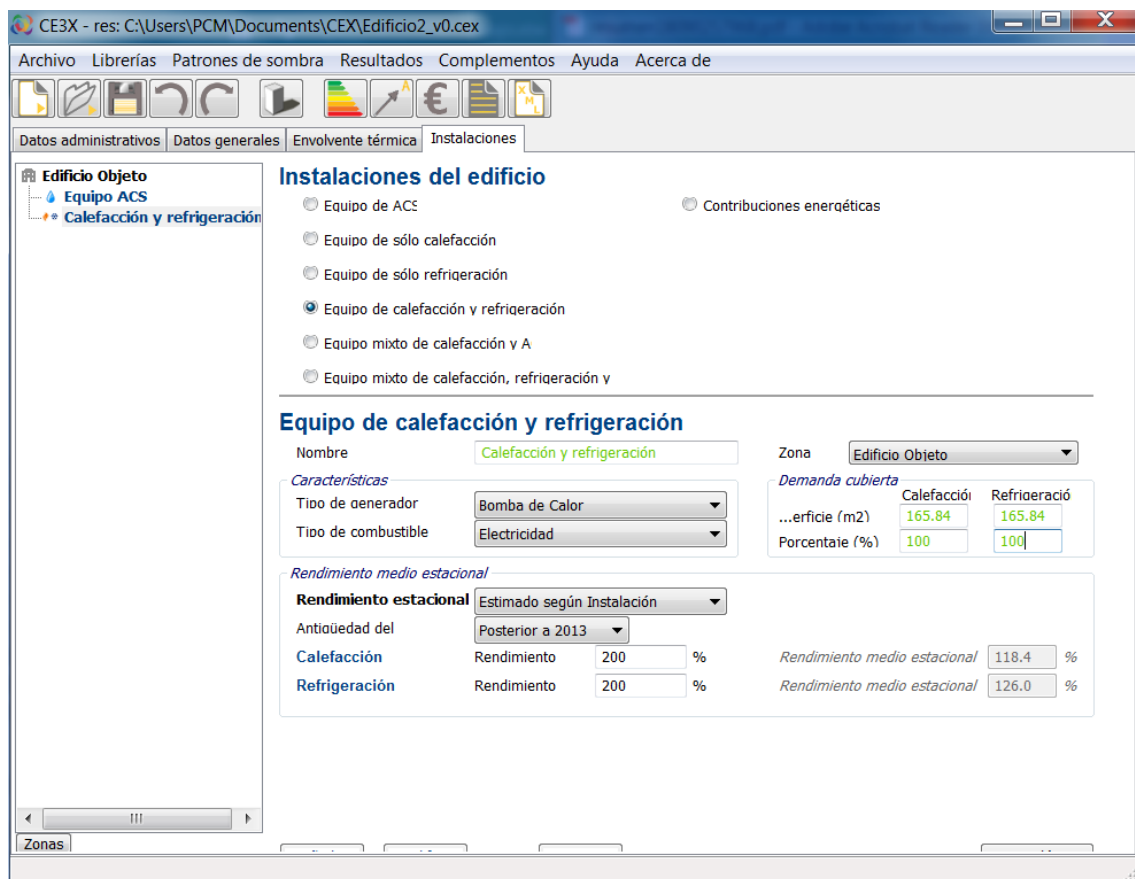


Figura 59. Información por defecto de conductos con bomba de calor aire-aire. CE3X.

5.4.2. RESULTADOS

Los resultados obtenidos son los siguientes, en cuanto a consumo de energía.

Programa utilizado	Vivienda unifamiliar		Vivienda unifamiliar	
	Energía final (kWh/m2)		Energía primaria no renovable (kWh/m2)	
	Calefacción anual	Refrigeración anual	Calefacción anual	Refrigeración anual
CE3X	-	-	198.11	10.51

Tabla 118. Resultados de consumo energía para el sistema de la vivienda unifamiliar. CE3X.

El programa no muestra en la salida de resultados los valores de consumo de energía final; sin embargo, como se observa, sí la energía primaria no renovable.

El rendimiento medio estacional que se define, según las correlaciones internas del programa, son 1,184 y 1,26, para calefacción y refrigeración, respectivamente.

5.5. CERMA

CERMA no realiza un desglose del cálculo de demanda y de la simulación del edificio con los sistemas de climatización concretos. Desde este punto de vista, sí realiza una especie de realimentación del cálculo, mejorando en principio de funcionamiento a HULC o CE3. Se debe contemplar, también, lo expuesto en los comentarios del punto *Transmisión y radiación en cerramientos opacos y el terreno* en el apartado asociado a CERMA.

5.5.1. DEFINICIÓN

Se accede al apartado de *Equipos* y se selecciona el sistema deseado para calefacción y para refrigeración. La definición del sistema se basa únicamente en rendimientos, la localización de las bocas de impulsión del sistema se estima mediante el parámetro de porcentaje de superficie acondicionada, el cual se deduce del desglose de superficie mostrado en la *Tabla 1*. Las características del sistema definido son las siguientes.

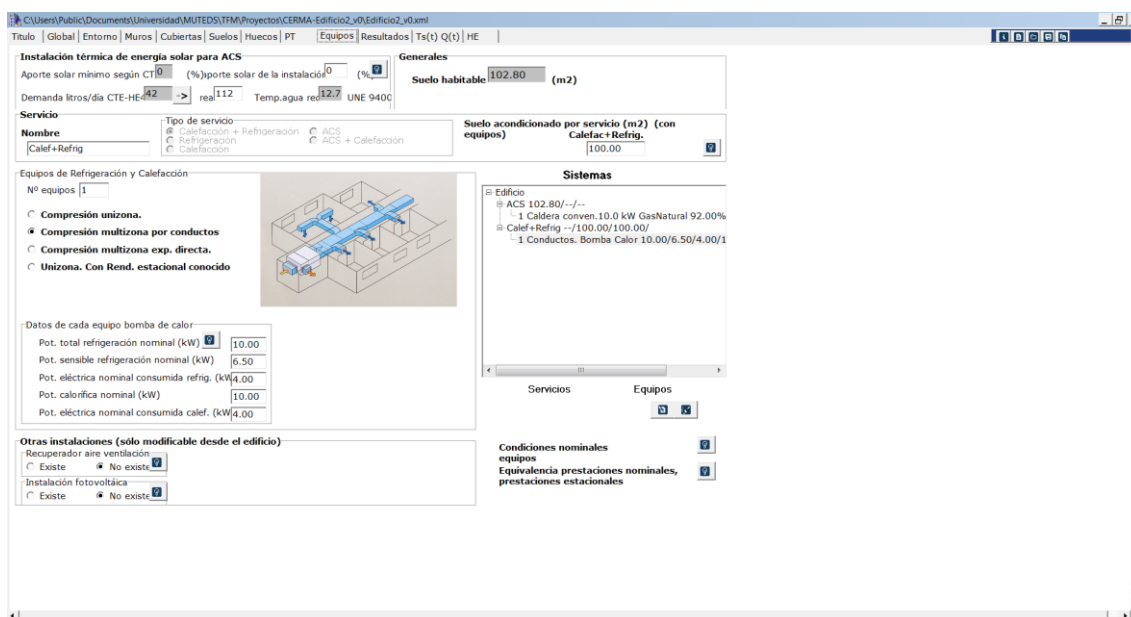


Figura 60. Información por defecto de conductos con bomba de calor aire-aire. CERMA.

5.5.2. RESULTADOS

Los resultados obtenidos son los siguientes, en cuanto a consumo de energía.

Programa utilizado	Vivienda unifamiliar		Vivienda unifamiliar	
	Energía final (kWh/m ²)		Energía primaria no renovable (kWh/m ²)	
	Calefacción anual	Refrigeración anual	Calefacción anual	Refrigeración anual
CERMA	-	-	137	34.9

Tabla 119. Resultados de consumo energía para el sistema de la vivienda unifamiliar. CERMA.

El programa no muestra en la salida de resultados los valores de consumo de energía final; sin embargo, como se observa, sí la energía primaria no renovable. De igual modo que se expuso en el apartado homólogo asociado al cálculo de demanda, se puede extraer informes similares a los de la *Figura 33*.

El rendimiento medio estacional que se define, según las correlaciones internas del programa, son 1,30 y 1,72, para calefacción y refrigeración, respectivamente.

5.6. SG-SAVE

Este programa, al estar basado en EnergyPlus, tiene un comportamiento diferente a lo expuesto en el apartado sobre *HULC* del *Capítulo 5. Aplicación de bomba de calor*. En este caso, sí se realiza un cálculo simultáneo de la demanda a satisfacer por el sistema y el consumo real del sistema, con las variaciones de temperatura que puedan tener lugar. De hecho, se tiene una variación en la demanda energética que se muestra una vez se define el sistema y cuando no existía. Se pasa de una demanda anual de 122,05 kWh/m² a una de 127,77 kWh/m² para calefacción y de 46,06 kWh/m² a 47,33 kWh/m² para refrigeración.

5.6.1. DEFINICIÓN

Se accede al apartado de *Sistemas de climatización en Zonas* y se selecciona el sistema deseado para calefacción y para refrigeración. La definición del sistema se basa únicamente en rendimientos, la potencia nominal y la localización de las bocas de impulsión del sistema se introduce mediante una asignación a una zona térmica existente en el modelo geométrico. Las características del sistema definido son las siguientes.

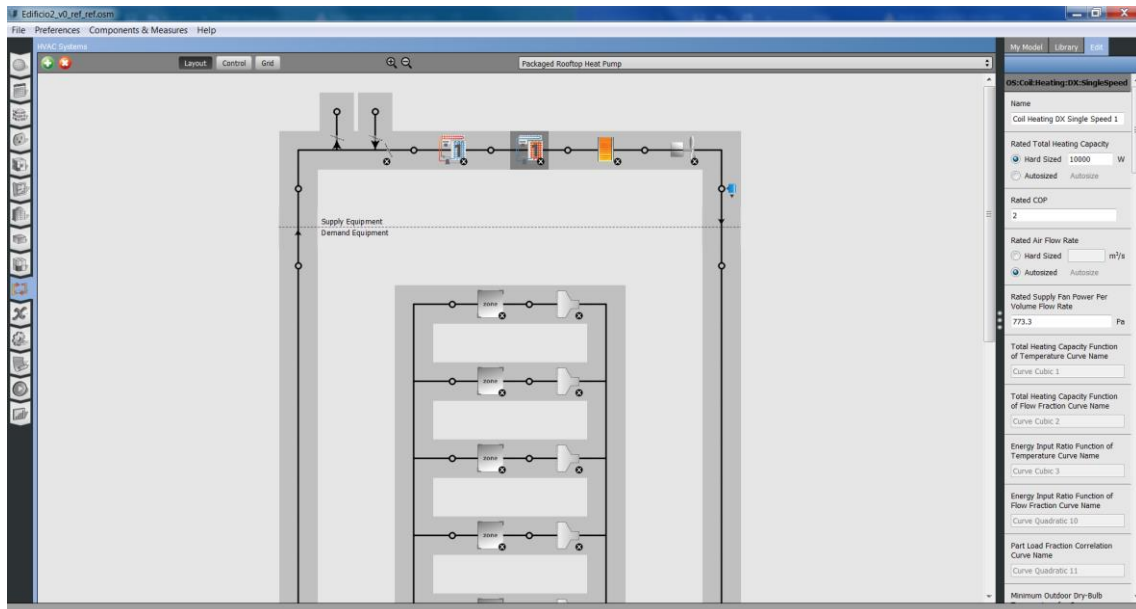


Figura 61. Información por defecto de conductos con bomba de calor aire-aire. SG-SAVE.

5.6.2. RESULTADOS

Los resultados obtenidos son los siguientes, en cuanto a consumo de energía.

Programa utilizado	Vivienda unifamiliar		Vivienda unifamiliar	
	Energía final (kWh/m ²)		Energía primaria no renovable (kWh/m ²)	
	Calefacción anual	Refrigeración anual	Calefacción anual	Refrigeración anual
SG-SAVE	62.2	28.1	-	-

Tabla 120. Resultados de consumo energía para el sistema de la vivienda unifamiliar. SG-SAVE.

Tal y como se ha modelado el edificio en el interfaz inicial de Sketch-Up no es posible obtener un informe sobre HEO propiamente dicho, dado que únicamente se muestra el valor de energía primaria total.

En las salidas se tiene una posibilidad de generar multitud de informes, tal y como se indicó en el apartado sobre el cálculo de la demanda energética del punto asociado del *Capítulo 4. Programas de simulación*.

5.7. CYPETHERM HE PLUS

Este programa, al estar basado en EnergyPlus, tiene un comportamiento diferente a lo expuesto en el apartado sobre *HULC* del *Capítulo 5. Aplicación de bomba de calor*. En este caso, sí se realiza un cálculo simultáneo de la demanda a satisfacer por el sistema y el consumo real del sistema, con las variaciones de temperatura que puedan tener lugar.

Existe una diferencia en los cálculos de demandas energéticas con y sin sistemas análogo a la expuesta para SG-SAVE.

5.7.1. DEFINICIÓN

Se accede al apartado de *Sistemas de climatización* en *Zonas* y se selecciona el sistema deseado para calefacción y para refrigeración. La definición del sistema se basa únicamente en rendimientos, la potencia nominal y la localización de las bocas de impulsión del sistema se introduce mediante una asignación a una zona térmica existente en el modelo geométrico. Las características del sistema definido son las siguientes.

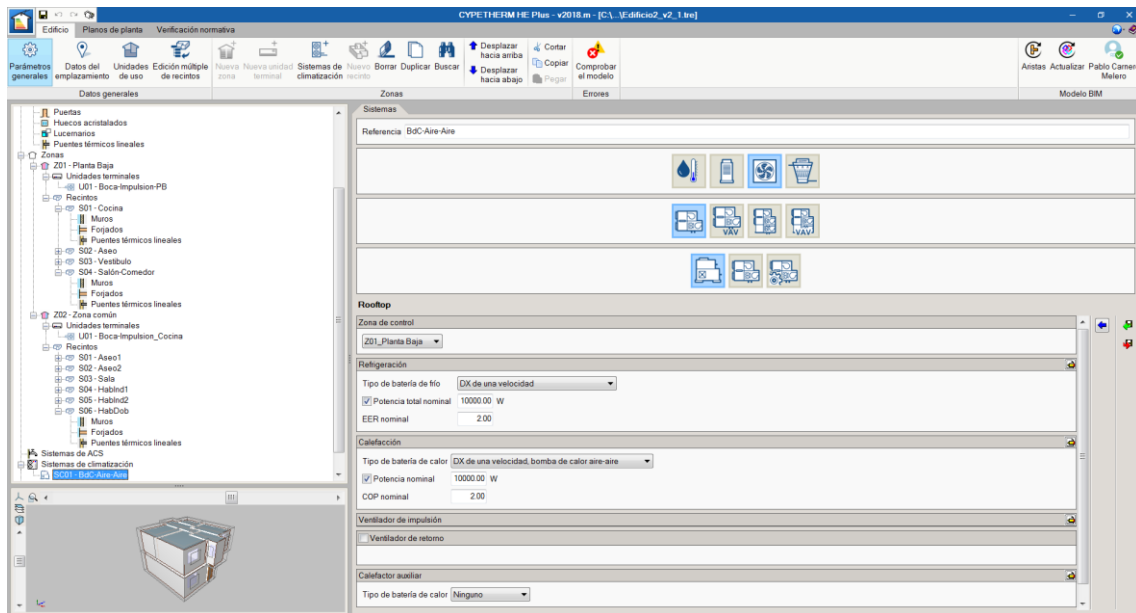


Figura 62. Información por defecto de conductos con bomba de calor aire-aire. CYPETHERM HE PLUS.

5.7.2. RESULTADOS

Los resultados obtenidos son los siguientes, en cuanto a consumo de energía.

Programa utilizado	Vivienda unifamiliar		Vivienda unifamiliar	
	Energía final (kWh/m ²)		Energía primaria no renovable (kWh/m ²)	
	Calefacción anual	Refrigeración anual	Calefacción anual	Refrigeración anual
CYPETHERM	83.7	14.42	111.26	17.79

Tabla 121. Resultados de consumo energía para el sistema de la vivienda unifamiliar. CYPETHERM HE PLUS.

En las salidas se tiene una posibilidad de generar multitud de informes, tal y como se indicó en el punto *Resultados* del apartado *CYPETHERM HE Plus*.

5.8. COMENTARIOS

Se observa que cada programa arroja un resultado de consumo de energía final distinto, habida cuenta de las disparidades existentes en las demandas energéticas. Se tiene una diferencia de principio de cálculo entre los programas que utilizan DOE2 como motor de cálculo y aquellos que hacen uso de EnergyPlus. Existiendo o no realimentación por la imposibilidad de mantener la temperatura interior en los valores de consigna.

Estas diferencias no se abordan en este trabajo, dado que exceden el objetivo del mismo, además de entrar en juego las ecuaciones algebraicas concretas que gobiernan las condiciones de funcionamiento, diferentes para cada programa. Por ejemplo, tomando la curva que rige la capacidad total de refrigeración del equipo en función de las temperaturas se tiene lo siguiente, fijada la temperatura de bulbo húmedo de la batería en 17°C y 20°C, respectivamente:

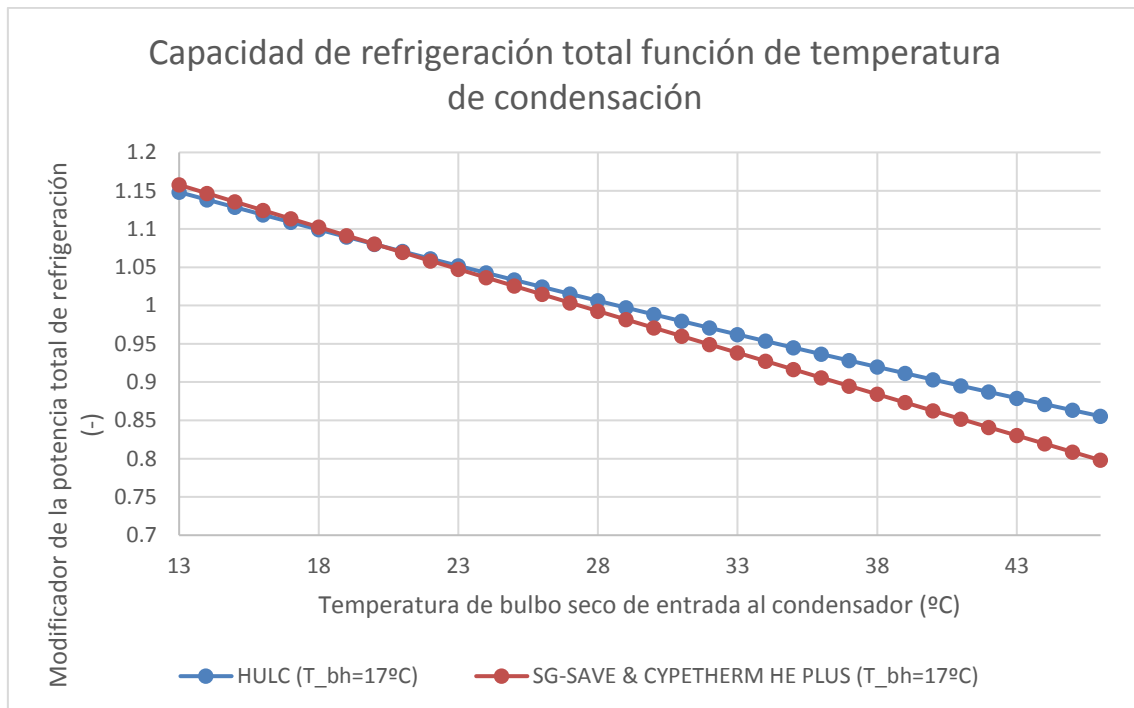


Gráfico 3. Capacidad de refrigeración total función de la temperatura de condensación, con T_{bh}=17°C. Elaboración propia.

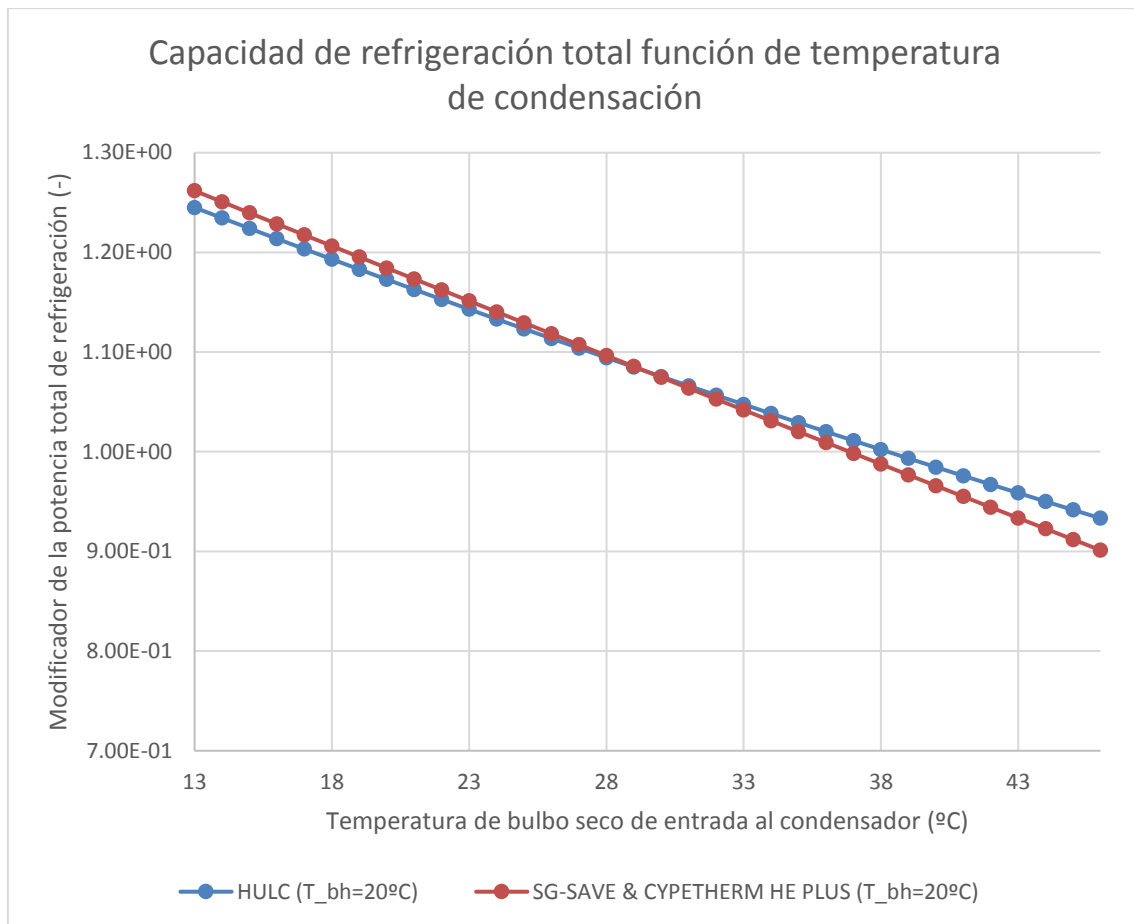


Gráfico 4. Capacidad de refrigeración total función de la temperatura de condensación, con $T_{bh}=20^{\circ}\text{C}$. Elaboración propia.

Siendo ambas curvas del tipo bicuadrática, con las mismas variables independientes, la temperatura húmeda en la batería de frío y la temperatura seca de entrada al condensador por aire, los resultados son diferentes. Conclusiones completamente análogas se siguen de las curvas de comportamiento para diferentes grados de carga y para el servicio de calefacción. Conclusiones similares se tienen para el resto de programas, como CE3 y CERMA, para los que no ha sido posible obtener explícitamente las curvas de funcionamiento del equipo modelado.

También existe diferencia en el autodimensionado de elementos de la red de distribución, como los propios y el ventilador. En EnergyPlus se tiene en cuenta las pérdidas de energía en distribución, no así en los modelos realizados con el resto de los programas reconocidos.

CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES

6.1. CONCLUSIONES

El presente trabajo tenía como objetivo evidenciar la disparidad permitida por la normativa española en materia de certificación energética de edificios y el no cumplimiento de esta en multitud de ocasiones. Además, pretendía ofrecer al lector mayor perspectiva a la hora de seleccionar qué procedimientos de calificación energética de edificios existen en función del rigor y operatividad que se desee.

En el desarrollo de este trabajo se ha observado, entre otras cosas, la disparidad en el uso de ficheros climáticos por los programas. Resulta flagrante la no utilización por ninguno de los programas reconocidos de los ficheros climáticos normativos, así como el nulo seguimiento por parte de las autoridades competentes en la materia.

Como se ha mencionado en el apartado *Comparativa*, los programas basados en motores de cálculo de prestigio y de libre uso, como EnergyPlus, según la opinión de quien suscribe este trabajo, deberían ser favorecidos por la normativa. No será posible conseguir los objetivos ambientales y de eficiencia energética marcados por las instituciones europeas y nacionales sino se es sincero a la hora de cuantificar la calidad del parque edificatorio español. Sin embargo, la mera utilización de un motor de cálculo de referencia no es motivo suficiente para obtener un programa de simulación energética de garantías. Como se ha observado en el final del *Capítulo 4. Programas de simulación*, CYPETHERM HE PLUS hace una labor mucho mejor que SG-SAVE a la hora de realizar una simulación energética de rigor, además de ser mucho más manejable y, por lo tanto, ser susceptible de generalizar su utilización entre las ingenierías y usuarios certificadores.

El organismo legislador debería, a juicio de quien suscribe este trabajo, ser más exigente a la hora de permitir nuevos programas certificadores obtener el rango de documento reconocido. De igual modo debe ir realizando, progresivamente, una limitación de qué herramientas se permite que mantengan el rango de documento reconocido, habida cuenta del avance tecnológico en materia de simulación energética. De hecho, los procedimientos simplificados siempre deben caer del lado de la seguridad y el conservadurismo, proporcionando resultados peores de calificación energética que aquellos programas de mayores garantías energéticas. Esto ha de ser irremediamente así porque si no se abre la puerta a la deliberada utilización de peores herramientas de diagnóstico energético. Además de tratar de evitar la utilización de programas de certificación energética de baja calidad, es fundamental extender las labores de comprobación y control de los certificados emitidos, aún si son realizados con herramientas de garantías. Es el único camino para obtener un diagnóstico real de la situación energética del parque de viviendas existente en España y posibilitar actuaciones de mejora reales y efectivas para aumentar su eficiencia.

6.2. CRÍTICA A ENERGYPLUS

Las conclusiones expuestas tras el análisis del presente trabajo podrían llevar al lector a pensar que el uso de EnergyPlus, como motor de cálculo, es garantía de procedimiento ideal para la simulación energética de edificios. Sin embargo, pese a ser, posiblemente, el software de libre uso más recomendado para la simulación energética de edificios por la comunidad científica, también tiene puntos mejorables.

Un elemento criticable es el tratamiento que se hace de los puentes térmicos, el cual, por defecto, es nulo. Es posible hacer una aproximación unidimensional, mediante los valores de transmitancia térmica lineal con superficies ficticias. Sin embargo, llama la atención que en EnergyPlus se incorporen modelos de referencia internacional para la determinación de los coeficientes de convección o infiltraciones mediante algoritmos multivariable, entre otros parámetros, y no se haga lo propio con los puentes térmicos. Contrasta con las garantías que ofrece el software en otras facetas de la simulación energética de los edificios el hecho de no contemplar directamente los puentes térmicos. Bien es cierto que, posiblemente, sin un programa de pre-procesado no sea práctico parametrizar el proceso tridimensional con inercia que supone la discontinuidad de materiales en los cerramientos o los defectos de aislamiento. No obstante, es un elemento objeto de crítica.

Adicionalmente a los puentes térmicos, se tiene que EnergyPlus, como la mayoría de softwares de cálculo, no contempla la dinámica e inercia de los sistemas de climatización y ventilación que modela. Se basa, meramente, en ecuaciones algebraicas. Este hecho hace que se pierda información sobre los arranques y paradas de los equipos o las consecuencias operacionales de funcionar a carga parcial, más allá de la pérdida de rendimiento o capacidad máxima.

Otro punto que es, de igual modo que con los puentes térmicos, un aspecto común a la mayoría de los programas de simulación energética en edificios y a mejorar por EnergyPlus para reforzar su estatus de software de referencia, es el modelado de la conducción unidimensional. Actualmente se modela con el método de conducción de calor en elementos multicapa atribuido a Stephenson y Mitalas. Básicamente, consiste en asumir una evolución lineal de la temperatura entre los pasos de cálculo, mediante una función triangular. Como se ha expuesto desde el Departamento de Termodinámica Aplicada de la Universidad Politécnica de València y desde el Instituto Valenciano de la Edificación, esta forma de modelar la conducción en el muro multicapa puede ser mejorada mediante una función parabólica en lugar de una lineal, asemejándose más al perfil real de la temperatura. El problema de base existente es que, *“el método de Mitalas no impone un balance de energía entre dos puntos de muestreo, dando lugar, por lo tanto, a un esquema de simulación energética no conservativo [...] Los errores de energía no se acumulan. Se compensan mutuamente, positiva y negativamente durante el tiempo, dando lugar a un esquema o algoritmo estable”* (Pinazo Ojer et al., 2015). La “solución” a este defecto en el modelado, tradicionalmente, ha sido incrementar la frecuencia de muestreo en el cálculo, dejando intacta la función lineal de la temperatura entre intervalos. Esta solución, sin embargo, *“no tiene demasiado sentido cuando se trabaja con sistemas de climatización, dado que la mayoría de los modelos se basan en ecuaciones algebraicas, no incluyendo sus dinámicas”* (Pinazo Ojer et al., 2015). La propuesta mostrada en la fuente citada anteriormente es cambiar la función de la temperatura por una parabólica, aumentando la fiabilidad sin la necesidad de pasos de tiempo tan reducidos y cumpliendo, en todo momento, con las leyes de la

termodinámica sobre la conservación de la energía. Se afirma, finalmente, que *“es posible alcanzar resultados similares de una función parabólica y una frecuencia de muestreo de 1 hora comparados con los obtenidos por una frecuencia de 5 minutos y un perfil lineal”* (Pinazo Ojer et al., 2015).

Estos son unos de los puntos que hacen de EnergyPlus un programa mejorable en algunos aspectos. Aún con todo, según la comunidad científica, se trata de un software de referencia en la simulación energética de edificios y la generalización de su uso ayudaría a tener un mejor diagnóstico sobre la energética del parque inmobiliario mundial.

6.3. DESARROLLO FUTURO, DEVS.

En un edificio se tiene multitud de excitaciones diferentes que alteran el equilibrio térmico con el ambiente en que se encuentra y que fuerzan que haya una serie de actuaciones sobre los equipos de climatización instalados para tratar de mantener una situación de confort preestablecida. Puede existir una excitación intensa y repentina asociada a una densidad energética muy elevada en forma de radiación solar sobre una ventana de la fachada este de un determinado edificio en la salida del sol. De igual modo que puede haber una excitación débil y prolongada en el tiempo fruto de una luminaria de baja potencia que consiga alterar la temperatura de bulbo seco de un determinado espacio. Según literatura de referencia, lo anterior se puede expresar como que *“la dinámica del edificio completo está compuesta por partes con un tiempo característico de respuesta ante excitaciones muy diferente”* (IDAE, 2008). Además, no únicamente se tiene unas excitaciones con características de intensidad y duración diferenciadas, sino que los propios elementos del edificio tienen unas reacciones igualmente diferentes. Los cerramientos opacos exteriores de los edificios suelen tener tiempos de respuesta del orden de horas, frente a la rapidez de reacción de los sistemas de climatización.

Actualmente se tienen simulaciones energéticas con un tiempo de muestreo fijo, conocido como *simulación de tiempo discreto*. Este hecho causa que, si se opta por un tiempo de muestreo del orden de los más lentos, una hora por ejemplo, se tiene una falta de definición en los elementos más rápidos del modelo, los sistemas. Por lo tanto, se suele optar por reducir la frecuencia de muestreo, lo que aumenta notablemente el coste computacional. Dicho de otro modo, *“para seguir correctamente la evolución del sistema con un método de tiempo discreto, el paso de tiempo debería venir determinado por aquella parte del edificio que responde más rápido [...] Esto hace la simulación más lenta, al tener que ser calculado todo con la cadencia más alta”* (IDAE, 2008).

Los recientes avances tecnológicos posibilitan el cambio hacia las *simulaciones de eventos discretos* (DEVS, por sus siglas en inglés) en detrimento de la *simulación de tiempo discreto*. Este método permite, a grandes rasgos, que cada elemento del modelo energético del edificio se actualice o se muestree cuando sea necesario o cuando haya sufrido una variación tal que sea necesario tenerla en cuenta. La gran ventaja del enfoque DEVS es que los intervalos temporales de cálculo no son regulares. De este modo, se tiene una simulación mucho más plástica y adaptativa; un muro enfocado al norte, con una gran inercia, sufre menos excitaciones que una ventana situada al sur. Con el modelado de *simulación de tiempo discreto* se obliga al modelo a ir al ritmo del elemento más lento o del que necesita mayor detalle. Como resultado se tiene, por ejemplo, tediosos cálculos de sombras que arrojan resultados muy similares en cada

intervalo de cálculo en elementos del edificio que no sufren a penas modificaciones para poder conseguir que los que sí las sufren queden correctamente definidos.

Esta nueva filosofía de simulación energética dota de robustez al modelo energético del edificio y, sin duda, está llamada a ser la norma en el futuro.

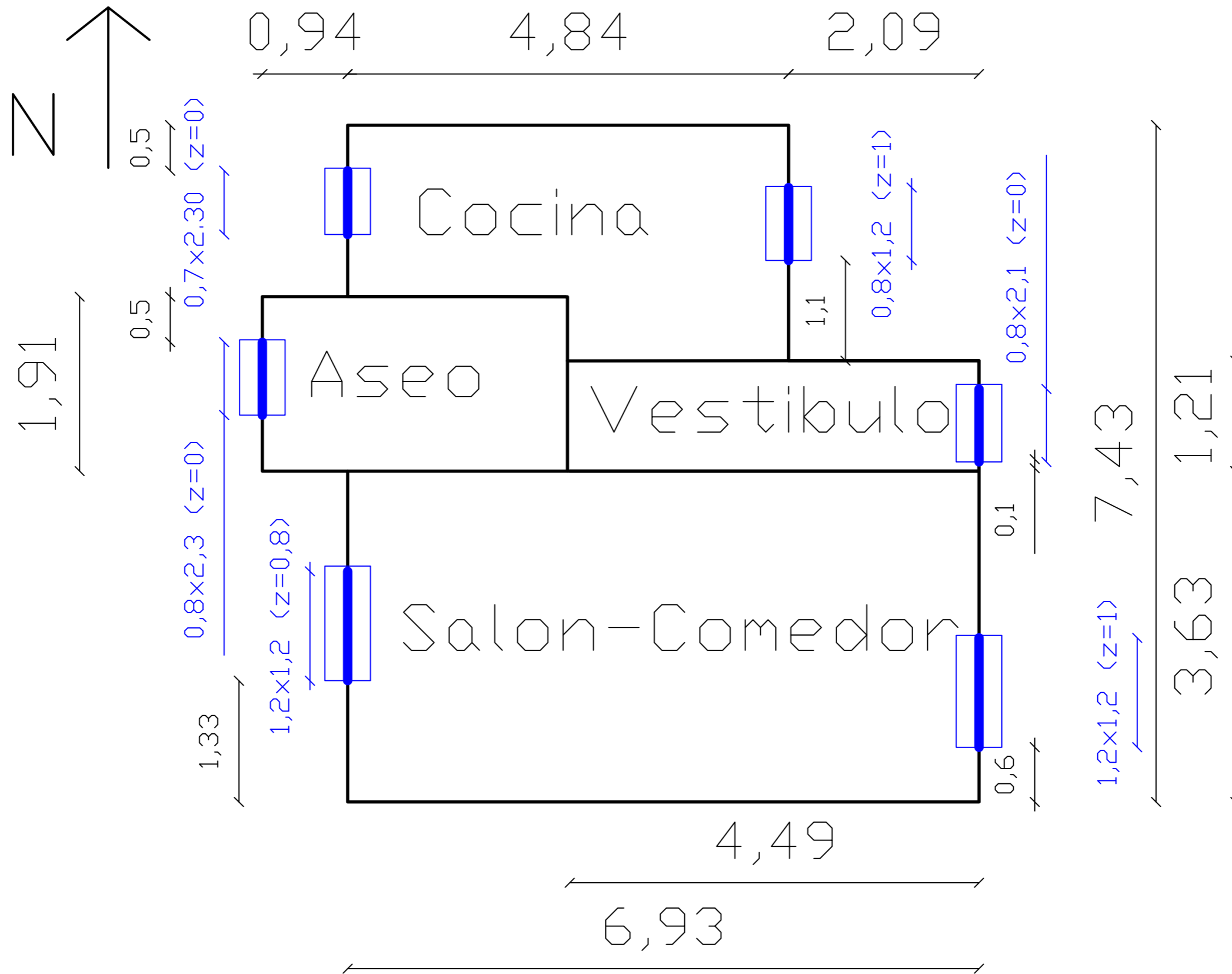
CAPÍTULO 7. BIBLIOGRAFÍA

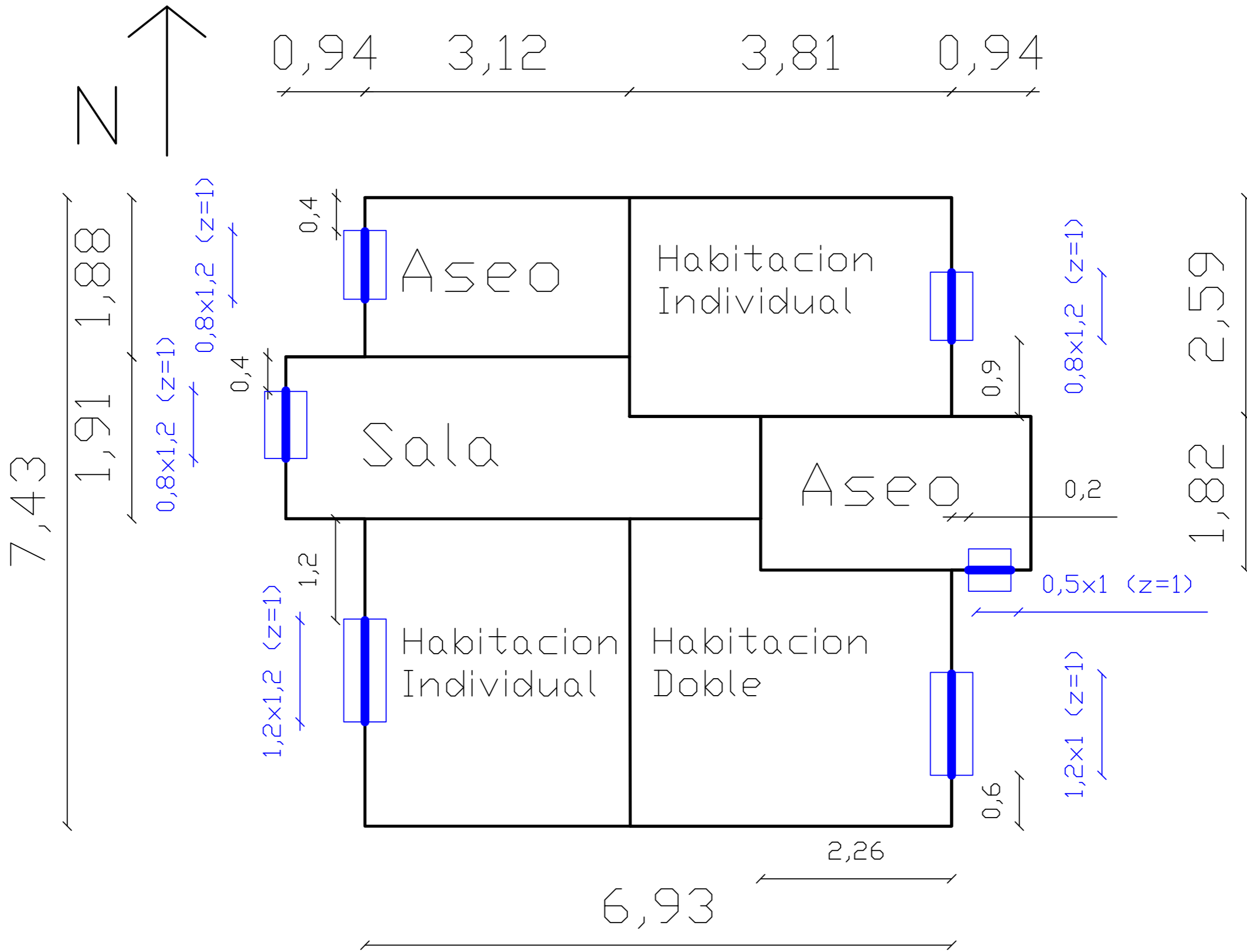
- AENOR. (2010). EN 15265.
- AENOR. (2011). *UNE-EN ISO 13790*.
- ATECYR; IVE. (2013). Manual de usuario CERMA v 2.4 de julio de 2013 Versión para edificios nuevos y existentes.
- Carnero Melero, P. (2016). *Desarrollo de un método práctico para la definición de sistemas de climatización desde CAD*. Universitat Politècnica de València. Retrieved from <http://hdl.handle.net/10251/68944>
- CEE. (1989). DIRECTIVA DEL CONSEJO de 21 de diciembre de 1988 relativa a la aproximación de las disposiciones legales, reglamentarias y administrativas de los Estados miembros sobre los productos de construcción (89/106/CEE), 1–24.
- Comisión Europea. (2010). Directiva 2010/31/UE relativa a la eficiencia energética de los edificios. *Boletín Oficial*, L135, 13–35.
- Congreso, I. V, Energ, E., & Nula, C. (2017). *Libro de comunicación y proyectos - IV Congreso de Edificios Energía Casi Nula. IV Congreso Edificios Energía Casi Nula*.
- CYPE Ingenieros. (n.d.-a). Cypetherm HE Plus. Retrieved June 12, 2018, from http://cypetherm-he-plus.cype.es/#descripcion_HE_Plus
- CYPE Ingenieros. (n.d.-b). *Manual de CYPETHERM HE Plus Contenido*.
- CYPE Ingenieros. (2018). CYPE IFCBuilder. Retrieved July 31, 2018, from <https://www.udemy.com/cype-ifcbuilder/learn/v4/t/lecture/9912050?start=0>
- Dirección General de Arquitectura Vivienda y Suelo. (2014). *DA DB-HE/3. Boletín Oficial del Estado*.
- Dirección General de Arquitectura Vivienda y Suelo. (2015). *DA DB-HE / 1. Boletín Oficial del Estado*.
- Dirección General de Arquitectura Vivienda y Suelo. (2017). *Documento descriptivo climas de referencia*.
- Efinovatic. (n.d.). SG SAVE. Retrieved July 3, 2018, from <https://www.efinovatic.es/energyPlus/>
- EnergyPlus. (2015). Input Output Reference. *Bigladder Software*, (c), 2109. Retrieved from <http://bigladdersoftware.com/epx/docs/8-3/input-output-reference/index.html>
- General de Planificación Energética Seguimiento, S. (2015). Aceptación de soluciones singulares y capacidades adicionales a los programas de referencia y alternativos de calificación de eficiencia energética de edificios, 0–4. Retrieved from http://www.minetad.gob.es/energia/desarrollo/EficienciaEnergetica/CertificacionEnergetica/Documentos/Documents/2015_11_18_Documento explicativo Soluciones Singulares L_V6.pdf

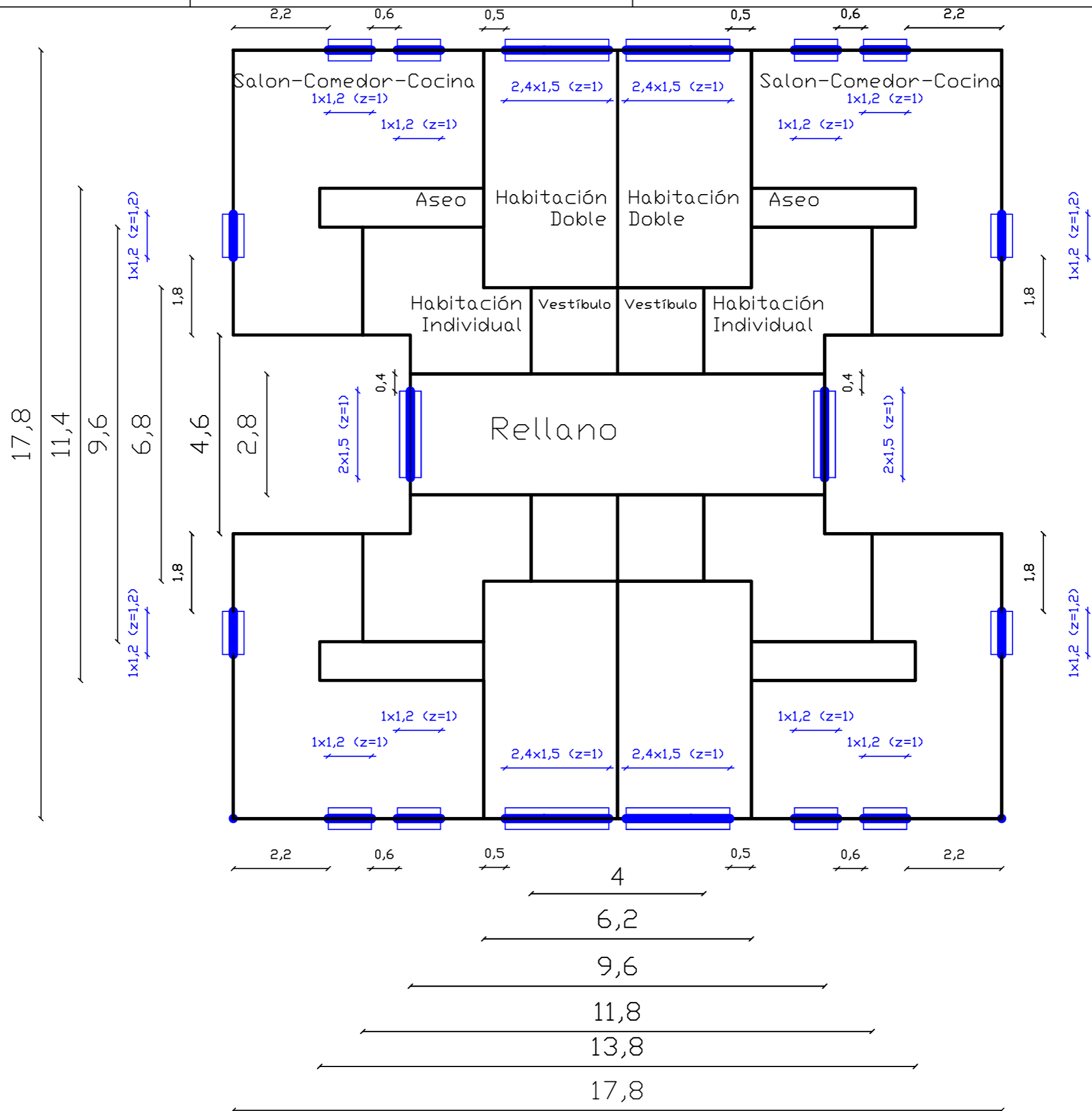
- Grupo de trabajo de documentos reconocidos de certificación de eficiencia energética de Edificios. (2018a). INFORME PROPUESTA DEFINITIVO SOBRE EL DOCUMENTO DENOMINADO: Habilitación CE3X para Certificación Energética de Edificios de nueva construcción.
- Grupo de trabajo de documentos reconocidos de certificación de eficiencia energética de Edificios. (2018b). INFORME PROPUESTA DEFINITIVO SOBRE EL DOCUMENTO DENOMINADO: METODOLOGÍA Y HERRAMIENTA INFORMÁTICA DE CALIFICACIÓN ENERGÉTICA CYPETHERM HE Plus.
- Grupo de trabajo de documentos reconocidos de certificación de eficiencia energética de Edificios. (2018c). INFORME PROPUESTA DEFINITIVO SOBRE EL DOCUMENTO DENOMINADO: SG SAVE – Software avanzado de verificación energética.
- IDAE. (2008). *Procedimientos y aspectos de la simulación de instalaciones térmicas en edificios. Journal of Chemical Information and Modeling* (Vol. 53). <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- IDAE. (2009a). *Condiciones de aceptación de procedimientos alternativos a LIDER y CALENER. Anexos. Eficiencia y ahorro energético.* <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- IDAE. (2009b). *Condiciones de aceptación de Procedimientos alternativos a LIDER y CALENER.*
- IDAE. (2010). *Guía técnica. Condiciones climáticas exteriores de proyecto. Ahorro y eficiencia energética en climatización.* Retrieved from <http://www.minetur.gob.es/energia/desarrollo/EficienciaEnergetica/RITE/Reconocidos/Reconocidos/CondicionesClimaticas.pdf>
- IDAE. (2012a). CE3X : Manual de fundamentos técnicos de calificación energética de edificios existentes CE3X, 004(2), 244.
- IDAE. (2012b). Manual de fundamentos técnicos de calificación energética de edificios existentes CE3.
- IDAE. (2012c). *Manual de usuario de calificación energética de edificios existentes CE3.*
- IDAE. (2015). Manual de Usuario. Herramienta Unificada LIDER-CALENER.
- Lamas, E. V. (2011). *Análisis y propuesta de un nuevo método de simulación abreviado para la certificación energética en edificios residenciales.* Universidad Politècnica de València.
- Ministerio de Energía Turismo y Agenda Digital. (n.d.-a). Normativa y modelos de utilización. Retrieved May 10, 2018, from <http://www.minetad.gob.es/energia/desarrollo/EficienciaEnergetica/CertificacionEnergetica/DocumentosReconocidos/Paginas/documentosreconocidos.aspx>
- Ministerio de Energía Turismo y Agenda Digital. (n.d.-b). Otros programas o documentos. Retrieved May 14, 2018, from <http://www.minetad.gob.es/energia/desarrollo/EficienciaEnergetica/CertificacionEnergetica/DocumentosReconocidos/Paginas/documentosreconocidos.aspx>
- Ministerio de Energía Turismo y Agenda Digital. (n.d.-c). Procedimientos para la certificación de edificios. Retrieved May 10, 2018, from <http://www.minetad.gob.es/energia/desarrollo/EficienciaEnergetica/CertificacionEnergetica/DocumentosReconocidos/Paginas/procedimientos-certificacion-proyecto-terminados.aspx>
- Ministerio de Fomento. (2017). Documento Básico HE - Ahorro de energía. In *Código Técnico de la Edificación (CTE)* (Vol. DB-HE, pp. 1–129).

- Ministerio de Industria Energía y Turismo. (2015a). Calificación de la eficiencia energética de los edificios, 1–34.
- Ministerio de Industria Energía y Turismo. (2015b). Condiciones técnicas de los procedimientos para la evaluación de la eficiencia energética de los edificios.
- Ministerio de la Presidencia. (2007). Real Decreto 47/2007, de 19 de enero, por el que se aprueba el Procedimiento básico para la certificación de eficiencia energética de edificios de nueva construcción. *Boletín Oficial Del Estado*, 31 de Enero de 2007, Núm. 27, 4499–4507.
- Parlamento Europeo, C. de la U. E. (1993). Directiva 93/76/CEE del consejo de 13 de septiembre de 1993, relativa a la limitación de las emisiones de dióxido de carbono mediante la mejora de la eficacia energética (SAVE). *Diario Oficial de La Unión Europea. Serie L*.
- Parlamento Europeo, & Consejo de la Unión Europea. (2003). Directiva 2002/91/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 16 de diciembre de 2002, relativa a la eficiencia energética de los edificios. *Doce*, 4-01-2003(L 1), 65–71.
- Pinazo Ojer, J. M., Soto Frances, V. M., Sarabia Escriva, E., & Soto Frances, L. (2015). Thermal response factors to a 2nd order shaping function for the calculation of the 1D heat conduction in a multi-layered slab. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 88, 579–590. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2015.04.110>
- US Department of Energy. (2010). EnergyPlus Engineering Reference: The Reference to EnergyPlus Calculations. *US Department of Energy*, (c), 1–847. <https://doi.org/citeulike-article-id:10579266>

PLANOS







ANEXOS

ANEXO I. GENERACIÓN DEL EDIFICIO DE REFERENCIA

INTRODUCCIÓN

El documento de referencia *Condiciones de aceptación de Procedimientos alternativos a LIDER y CALENER* contiene, en su capítulo 8, las indicaciones que se deben seguir para conseguir generar el edificio de referencia asociado a un determinado edificio objeto. Además, en los anexos a dicho documento de referencia se encuentra un detalle de los parámetros funcionales y operacionales (IDAE, 2009a). Las referencias de las tablas expuestas en este apartado del trabajo, salvo indicación contraria, pertenecen a la anterior fuente citada. Los contenidos son los mismos que los expuestos en el documento maestro sobre condiciones técnicas de los procedimientos para la evaluación de la eficiencia energética de los edificios (Ministerio de Industria Energía y Turismo, 2015b).

A continuación, se muestran los apartados de dicho documento, de un modo íntegro, que son de aplicación, para que el lector encuentre más fácil el seguimiento de las referencias.

CARACTERÍSTICAS

A continuación, se expone las condiciones de referencia para la generación de edificios residenciales y terciarios, de acuerdo con la normativa española vigente.

Elemento	Concepto	Edificio objeto	Edificio referencia	Comentarios
Muros exteriores de espacios habitables	Espesor y propiedades de las capas	Tal cual en proyecto	Muros de referencia de la tabla 8.13, según la zona climática	
Muros de espacios habitables en contacto con el terreno o con espacios no habitables	Espesor y propiedades de las capas	Tal cual en proyecto	Muros de referencia de la tabla 8.13, según la zona climática	En el edificio de referencia se considera el muro en contacto con el exterior en vez de en contacto con el terreno y se suprimen los espacios no habitables (véase la figura 8.1)
Cubiertas exteriores (planas o inclinadas) de espacios habitables	Espesor y propiedades de las capas	Tal cual en proyecto	Cubiertas de referencia de la tabla 8.14, en función de la zona climática	
Forjados de espacios habitables en contacto con espacios no habitables	Espesor y propiedades de las capas	Tal cual en proyecto	Cubiertas de referencia de la tabla 8.14, en función de la zona climática	Se sustituye el forjado entre el espacio no habitable y el habitable inmediatamente inferior por la cubierta plana de referencia (véase la figura 8.1)
Suelos de espacios habitables en contacto con el exterior	Espesor y propiedades de las capas	Tal cual en proyecto	Suelos de referencia de la tabla 8.15, según la zona climática	
Suelos de espacios habitables en contacto con el terreno o con espacios no habitables	Espesor y propiedades de las capas	Tal cual en proyecto	Suelos de referencia de la tabla 8.15, según la zona climática	En el edificio de referencia se considera suelo en contacto con el exterior en vez de en contacto con el terreno o con un espacio no habitable (véase la figura 8.1)

Tabla 8.1 Muros, cubiertas y suelos de espacios habitables

Tabla 122. Tabla sobre cerramientos opacos para la generación del edificio de referencia.

Elemento	Concepto	Edificio objeto	Edificio referencia	Comentarios
Forjados y particiones	Espesor y propiedades de las capas	Tal cual en proyecto	Forjados y particiones de referencia (tablas 8.16 y 8.17)	
Medianeras	Espesor y propiedades de las capas	Tal cual en proyecto	Medianeras de referencia de la tabla 8.18, según la zona climática	

Tabla 8.2 Cerramientos interiores de espacios habitables

Tabla 123. Tabla sobre cerramientos interiores para la generación del edificio de referencia.

Elemento	Concepto	Edificio objeto	Edificio referencia	Comentarios
Puentes térmicos	Transmitancia lineal	Tal cual en proyecto	Transmitancia lineal de referencia de la tabla 8.19, según la zona climática	

Tabla 8.3 Puentes térmicos de espacios habitables

Tabla 124. Tabla sobre puentes térmicos para la generación del edificio de referencia.

Elemento	Concepto	Edificio objeto	Edificio referencia	Comentarios
Huecos	Dimensiones, si el porcentaje de huecos no supera el 60% en cada orientación asimilada ^a	Tal cual en proyecto	Como en el edificio objeto	
	Dimensiones, si el porcentaje de huecos supera el 60% en alguna orientación asimilada ^a	Tal cual en proyecto	Para cada orientación en la que el porcentaje de huecos supere el 60%, se modificarán las superficies de todos los huecos de dicha orientación hasta que el valor de ese porcentaje sea del 60%	La parte de hueco eliminada se sustituye por el muro de referencia que corresponda en función de la zona climática
	Transmitancia	Tal cual en proyecto	Transmitancia límite de CTE-HE1 en función de zona climática, orientación asimilada ^a y porcentaje de huecos (Anexo II)	En el edificio de referencia todos los huecos que den a la misma orientación asimilada ^a tienen la misma transmitancia

Elemento	Concepto	Edificio objeto	Edificio referencia	Comentarios
	Factor solar	Tal cual en proyecto	Invierno: valor de la tabla 8.20, en función de la transmitancia límite requerida Verano: El factor solar total debe ser el valor límite de verano del CTE-HE1, función de zona climática, orientación asimilada, porcentaje de huecos en la orientación y uso del espacio	En caso de que no exista factor solar límite para verano en las tablas del CTE-HE1, se tomará el factor solar de invierno

Tabla 8.4 Huecos de espacios habitables

Tabla 125. Tabla sobre huecos para la generación del edificio de referencia.

Elemento	Concepto	Edificio objeto	Edificio referencia	Comentarios
			<p>Su valor se obtendrá añadiendo a cada hueco un elemento ficticio de sombra, cuyo factor de sombra multiplicado por el factor solar de de invierno coincida con el valor límite</p> <p>Límite entre Alta y Baja carga interna: En el edificio de referencia se considerarán unos valores límite del factor solar modificado de huecos que dependerán, como establece el CTE en las tablas de su opción prescriptiva, del nivel de intensidad de las fuentes internas. Para ese propósito se considerará <i>Baja carga interna</i> cuando la suma de todas las fuentes internas (ocupantes, iluminación, equipos) no alcance los 6 W/m²; y se considerará <i>Alta carga interna</i> a partir de dicho valor</p>	El elemento de sombra ficticio que se añade eventualmente no modifica la transmitancia del hueco
	Retranqueos	Tal cual en proyecto	Como en el edificio objeto	
	Obstáculos de fachada que forman parte de la envolvente del edificio	Tal cual en proyecto, a partir de su definición geométrica	Como en el edificio objeto	
	Otros obstáculos de fachada	Tal cual en proyecto, a partir de su definición geométrica	Se ignoran	
	Elementos de sombra exteriores adicionales al acristalamiento	Tal cual en proyecto, a partir de su definición geométrica o mediante un factor de sombra	Se ignoran	
	Permeabilidad	Tal cual en proyecto, a través del valor a 100 Pa	En zonas climáticas A y B: 50 m ³ /hm ² a 100 Pa En otras zonas climáticas: 27 m ³ /hm ² a 100 Pa	

Tabla 8.4 (Continuación) Huecos de espacios habitables

Tabla 126 (cont. Tabla 125). Tabla sobre huecos para la generación del edificio de referencia.

Elemento	Concepto	Edificio objeto	Edificio referencia	Comentarios
Lucernarios	Dimensiones, si el porcentaje de lucernarios no supera el 5% de la cubierta	Tal cual en proyecto	Como en el edificio objeto	
	Dimensiones, si el porcentaje de lucernarios supera el 5% de la cubierta	Tal cual en proyecto	Se modificarán las superficies de todos los lucernarios de la cubierta hasta que el valor de ese porcentaje sea del 5%	La parte de lucernario eliminada se sustituye por la cubierta de referencia que corresponda, en función de la zona climática (tabla 8.14)
	Transmitancia	Tal cual en proyecto	Transmitancia límite de la cubierta en función de la zona climática, (Anexo II)	
	Factor solar	Tal cual en proyecto, considerando acristalamiento y marco de manera independiente	Invierno: 0.7 Verano: El factor solar total debe ser el valor límite de verano del CTE-HE1, función de la zona climática y el uso del espacio	
	Elementos de sombra exteriores o integrados	Tal cual en proyecto, a partir de su definición geométrica o mediante un factor de sombra	Se ignoran	
	Permeabilidad	Tal cual en proyecto a través del valor a 100 Pa	En zonas climáticas A y B: 50 m ³ /hm ² a 100 Pa En otras zonas climáticas: 27 m ³ /hm ² a 100 Pa	

Tabla 8.5 Lucernarios de espacios habitables

Tabla 127. Tabla sobre lucernarios para la generación del edificio de referencia.

Elemento	Concepto	Edificio objeto	Edificio referencia	Comentarios
Puertas con superficie acristalada inferior al 50%	Todos	Tal cual en proyecto o valor por defecto para la permeabilidad	Como en el edificio objeto	

Tabla 8.6 Puertas de espacios habitables

Tabla 128. Tabla sobre puertas para la generación del edificio de referencia.

Elemento	Concepto	Edificio objeto	Edificio referencia	Comentarios
Cerramientos opacos y semitransparentes de espacios no habitables que dan al exterior o están en contacto con el terreno	Todos	Tal cual en proyecto	No procede	Desaparecen al desaparecer, a su vez, todo el espacio no habitable

Tabla 8.7 Cerramientos opacos y semitransparentes de espacios no habitables

Tabla 129. Tabla sobre cerramientos de espacios no habitables para la generación del edificio de referencia.

Elemento	Concepto	Edificio objeto	Edificio referencia	Comentarios
Espacios acondicionados	Condiciones operacionales	Según tipo de uso	Como en el edificio objeto	
	Fuentes internas			
	Ventilación			
Espacios no acondicionados	Condiciones operacionales	Según se explica en el Anexo III	Como en el edificio objeto	Sólo se permiten espacios no acondicionados en edificios no destinados a vivienda
	Fuentes internas			
	Ventilación Infiltración			

Tabla 8.8 Espacios habitables

Tabla 130. Tabla sobre espacios habitables para la generación del edificio de referencia.

Elemento	Concepto	Edificio objeto	Edificio referencia	Comentarios
Espacios no habitables	Condiciones operacionales	Según se explica en el Anexo III	No procede	
	Fuentes internas		Los espacios no habitables no aparecen en el edificio de referencia	
	Ventilación		Los cerramientos que los separan de espacios habitables se convierten en cerramientos exteriores con las soluciones de referencia para muros exteriores, cubiertas y suelos (véase figura 8.1)	
	Infiltración			

Tabla 8.9 Espacios no habitables

Tabla 131. Tabla sobre espacios no habitables para la generación del edificio de referencia.

Capas comunes del edificio de referencia					
Descripción: Fábrica con revestimiento continuo. No ventilada. Aislamiento por el interior					
Materiales (*)	e (mm)	λ (W/mK)	R (m ² K/ W)	ρ (kg/m ³)	C _p (J/kgK)
Mortero de cemento	15	1.30	0.012	1900	1000
Ladrillo perforado	115	0.50	0.230	900	1000
Aislante			R _{AT} (**)		
Ladrillo hueco	40	0.40	0.100	920	1000
Enlucido de yeso	15	0.57	0.026	1100	1000

* Materiales definidos del exterior al interior

** R_{AT}: Resistencia térmica del aislante, en m²K/W. Su valor se tomará de la siguiente tabla:

Aislamiento específico del edificio de referencia		
Zona climática	U (W/m ² K)(***)	R _{AT} (m ² K/ W)
A	0.94	0.526
B	0.82	0.682
C	0.73	0.832
D	0.66	0.977
E	0.57	1.216

*** Transmitancia térmica requerida

Tabla 8.13 Composición de muros exteriores

Tabla 132. Tabla sobre composición de muros exteriores para la generación del edificio de referencia.

Capas comunes del edificio de referencia					
Descripción: Plana transitable. No ventilada. Solado fijo					
Materiales (*)	e (mm)	λ (W/mK)	R (m ² K/W)	ρ (kg/m ³)	C _p (J/kgK)
Plaqueta o baldosa cerámica	15	1.00	0.015	2000	800
Mortero de cemento	15	1.30	0.012	1900	1000
Aislante			R _{AT} (**)		
Hormigón con áridos ligeros	70	1.15	0.061	1600	1000
Forjado cerámico	250	1.67	0.150	1660	1000

* Materiales definidos del exterior al interior

** R_{AT}: Resistencia térmica del aislante, en m²K/W. Su valor se tomará de la siguiente tabla:

Aislamiento específico del edificio de referencia		
Zona climática	U (W/m ² K)(***)	R _{AT} (m ² K/W)
A	0.50	1.593
B	0.45	1.815
C	0.41	2.032
D	0.38	2.224
E	0.35	2.450

*** Transmitancia térmica requerida

Tabla 8.14 Composición de cubiertas

Tabla 133. Tabla sobre composición de cubiertas para la generación del edificio de referencia.

Capas comunes del edificio de referencia					
Descripción: Plana transitable. No ventilada. Solado fijo					
Materiales (*)	e (mm)	λ (W/mK)	R (m ² K/ W)	ρ (kg/m ³)	C _p (J/kgK)
Plaqueta o baldosa cerámica	15	1.0	0.015	2000	800
Mortero de cemento	15	1.3	0.012	1900	1000
Aislante			R _{AT} (**)		
Solera de hormigón armado	200	2.5	0.080	2500	1000

* Materiales definidos de arriba a abajo

** R_{AT}: Resistencia térmica del aislante, en m²K/ W. Su valor se tomará de la siguiente tabla:

Aislamiento específico del edificio de referencia		
Zona climática	U (W/m ² K)(***)	R _{AT} (m ² K/ W)
A	0.53	1.610
B	0.52	1.646
C	0.50	1.723
D	0.49	1.764
E	0.48	1.807

*** Transmitancia térmica requerida

Tabla 8.15 Composición de suelos

Tabla 134. Tabla sobre composición de suelos para la generación del edificio de referencia.

Capas comunes del edificio de referencia					
Descripción: Forjado cerámico sin aislamiento					
Materiales (*)	e (mm)	λ (W/mK)	R (m ² K/ W)	ρ (kg/m ³)	C _p (J/kgK)
Plaqueta o baldosa cerámica	15	1.00	0.015	2000	800
Mortero de cemento	20	1.30	0.015	1900	1000
Forjado cerámico	250	1.67	0.150	1660	1000

* Materiales definidos de arriba a abajo

Tabla 8.16 Composición de forjados interiores

Capas comunes del edificio de referencia					
Descripción: Fábrica con revestimiento continuo. No ventilada. Aislamiento por el interior					
Materiales	e (mm)	λ (W/mK)	R (m ² K/ W)	ρ (kg/m ³)	C _p (J/kgK)
Enlucido de yeso	15	0.57	0.026	1100	1000
Ladrillo hueco	40	0.40	0.100	770	1000
Enlucido de yeso	15	0.57	0.026	1100	1000

Tabla 8.17 Composición de particiones interiores

Tabla 135. Tabla sobre composición de particiones interiores para la generación del edificio de referencia.

Capas comunes del edificio de referencia					
Descripción: Fábrica con revestimiento continuo. No ventilada. Aislamiento por el interior					
Materiales	e (mm)	λ (W/mK)	R (m ² K/ W)	ρ (kg/m ³)	C _p (J/kgK)
Enlucido de yeso	15	0.57	0.026	1100	1000
Tabicón de ladrillo hueco doble	70	0.44	0.159	930	1000
Aislante			R _{At} (*)		
Tabicón de ladrillo hueco doble	70	0.44	0.159	930	1000
Enlucido de yeso	15	0.57	0.026	1100	1000

* R_{At}: Resistencia térmica del aislante, en m²K/ W. Su valor se tomará de la siguiente tabla:

Aislamiento específico del edificio de referencia		
Zona climática	U (W/m ² K)(**)	R _{At} (m ² K/ W)
A	1.22	0.189
B	1.07	0.304
C	1.00	0.369
D	1.00	0.369
E	1.00	0.369

** Transmitancia térmica requerida

Tabla 8.18 Composición de medianeras

Tabla 136. Tabla sobre composición de medianeras para la generación del edificio de referencia.

Caso		Zona climática				
		A	B	C	D	E
Encuentros de forjados con fachadas	Frente de forjado	0.80	0.75	0.70	0.65	0.60
	Forjado de cubierta	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45
	Forjado de suelo al exterior	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45
Encuentros entre cerramientos verticales	Esquina saliente	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
	Esquina entrante	-0.10	-0.15	-0.15	-0.15	-0.15
Hueco ventana		0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
Pilar		0.85	0.85	0.80	0.75	0.70
Unión entre solera en contacto con el terreno y pared exterior		0.15	0.15	0.15	0.15	0.15

Tabla 8.19 Transmitancia lineal de referencia de puentes térmicos procedentes de encuentros entre cerramientos, Ψ_{ref} [W/Mk]

Tabla 137. Tabla sobre transmitancia lineal de puentes térmicos geométricos para la generación del edificio de referencia.

U (W/m²K)(*)	g _⊥
5.7	0.85
5.5	0.85
5.3	0.84
5.1	0.83
4.9	0.83
4.7	0.82
4.5	0.81
4.3	0.80
4.1	0.79
3.9	0.78
3.7	0.77
3.5	0.76
3.3	0.74
3.1	0.73
2.9	0.72
2.7	0.70
2.5	0.68
2.3	0.67
2.1	0.65
1.9	0.63

Tabla 8.20 Factor solar (g_⊥) de los huecos de referencia a partir de la transmitancia térmica requerida

* U: Transmitancia térmica requerida. Para valores intermedios de U puede obtenerse g_⊥ como la media de los valores inmediatamente superior e inferior

Tabla 138. Tabla sobre factor solar de huecos para la generación del edificio de referencia.

Zona Climática D3										
Transmitancia límite de muros de fachada y cerramientos en contacto con el terreno					U _{Wim} : 0,66 W/m² K					
Transmitancia límite de suelos					U _{Sim} : 0,49 W/m² K					
Transmitancia límite de cubiertas					U _{Cim} : 0,38 W/m² K					
Factor solar modificado límite de lucernarios					F _{Lim} : 0,28					
% de huecos	Transmitancia límite de huecos U _{Him} W/m²K				Factor solar modificado límite de huecos F _{Him}					
	N	E/O	S	SE/SO	Baja carga interna			Alta carga interna		
					E/O	S	SE/SO	E/O	S	SE/SO
de 0 a 10	3,5	3,5	3,5	3,5	-	-	-	-	-	-
de 11 a 20	3,0	3,5	3,5	3,5	-	-	-	-	-	-
de 21 a 30	2,5	2,9	3,5	3,5	-	-	-	0,54	-	0,57
de 31 a 40	2,2	2,6	3,4	3,4	-	-	-	0,42	0,58	0,45
de 41 a 50	2,1	2,5	3,2	3,2	0,50	-	0,53	0,35	0,49	0,37
de 51 a 60	1,9	2,3	3,0	3,0	0,42	0,61	0,46	0,30	0,43	0,32

Tabla 139. Tabla sobre transmitancias máximas y factor solar de la envolvente del edificio de referencia para la Zona Climática D3.

Viviendas																								
Temp Consigna Alta (°C)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Enero	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Febrero	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Marzo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Abril	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mayo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Junio	27	27	27	27	27	27	27	-	-	-	-	-	-	-	-	25	25	25	25	25	25	25	25	27
Julio	27	27	27	27	27	27	27	-	-	-	-	-	-	-	-	25	25	25	25	25	25	25	25	27
Agosto	27	27	27	27	27	27	27	-	-	-	-	-	-	-	-	25	25	25	25	25	25	25	25	27
Septiembre	27	27	27	27	27	27	27	-	-	-	-	-	-	-	-	25	25	25	25	25	25	25	25	27
Octubre	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Noviembre	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Diciembre	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Temp Consigna Baja (°C)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Enero	17	17	17	17	17	17	17	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	17
Febrero	17	17	17	17	17	17	17	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	17
Marzo	17	17	17	17	17	17	17	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	17
Abril	17	17	17	17	17	17	17	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	17
Mayo	17	17	17	17	17	17	17	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	17
Junio	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Julio	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Agosto	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Septiembre	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Octubre	17	17	17	17	17	17	17	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	17
Noviembre	17	17	17	17	17	17	17	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	17
Diciembre	17	17	17	17	17	17	17	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	17
Ocupación sensible (W/m²)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Laboral	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	2.15
Sábado	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15
Festivo	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15
Ocupación latente (W/m²)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Laboral	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	1.36
Sábado	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36
Festivo	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36
Iluminación (W/m²)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Laboral, sábado y festivo	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	2.20
Equipos (W/m²)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Laboral, sábado y festivo	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	2.20
Ventilación verano²	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Laboral, sábado y festivo	4	4	4	4	4	4	4	4	4	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*

Tabla 140. Tabla sobre condiciones operacionales del edificio de referencia de uso residencial.

Viviendas																								
Ventilación invierno³	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Laboral, sábado y festivo	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Agua Caliente Sanitaria (%)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Perfil Diario (% del Máximo)	12	5	4	2	2	6	27	100	70	75	62	56	48	48	41	33	39	38	52	70	57	63	48	52

2 En régimen de verano, durante el período comprendido entre la 1 y las 8 horas, ambas incluidas, se supondrá que los espacios habitables de los edificios destinados a vivienda presentan una infiltración originada por la apertura de ventanas de 4 renovaciones por hora. El resto del tiempo, indicados con * en la tabla, el número de renovaciones hora será constante e igual al calculado según el procedimiento del apartado 4.7.4.

3 El número de renovaciones hora, indicado con * en la tabla, será constante e igual al calculado según el procedimiento del apartado 4.7.4.

Tabla 141 (cont. Tabla 140). Tabla sobre condiciones operacionales del edificio de referencia de uso residencial.

Como se puede observar, hay ciertos parámetros operacionales que no quedan directamente definidos con las referencias anteriores; la ventilación y el caudal máximo de Agua Caliente Sanitaria (en adelante, ACS). Estos parámetros, expone la normativa que se deben asumir como idénticos al edificio objeto; a continuación, se muestran las consideraciones supuestas, siempre tomando la normativa como referencia.

Para la ventilación de invierno y la diurna de verano, se acude al Apéndice C sobre perfiles de uso del DB-HE1 y se trabaja con la Tabla 2.1 (Ministerio de Fomento, 2017), la cual se reproduce a continuación.

Tabla 2.1 Caudales mínimos para ventilación de caudal constante en locales habitables

Tipo de vivienda	Caudal mínimo q_v en l/s				
	Locales secos ^{(1) (2)}			Locales húmedos ⁽²⁾	
	Dormitorio principal	Resto de dormitorios	Salas de estar y comedores ⁽³⁾	Mínimo en total	Mínimo por local
0 ó 1 dormitorios	8	-	6	12	6
2 dormitorios	8	4	8	24	7
3 o más dormitorios	8	4	10	33	8

(1) En los locales secos de las viviendas destinados a varios usos se considera el caudal correspondiente al uso para el que resulte un caudal mayor

(2) Cuando en un mismo local se den usos de local seco y húmedo, cada zona debe dotarse de su caudal correspondiente

(3) Otros locales pertenecientes a la vivienda con usos similares (salas de juego, despachos, etc.)

Tabla 142. Tabla caudales de ventilación en edificios de uso residencial.

Teniendo en cuenta lo expuesto en el apartado de *Zonificación*, se tiene lo siguiente:

- Edificio 2.
 - Secos:
 - 1 salón-comedor. 10 l/s
 - 1 vestíbulo. - l/s
 - 1 habitación doble. 8 l/s
 - 2 habitaciones simples. 8 l/s
 - 1 sala de estar. 10 l/s.
 - **Total. 36 l/s**
 - Húmedos:
 - 3 aseos. 24 l/s
 - 1 cocina. 8 l/s
 - **Total. Mínimo 33 l/s.**

El máximo valor, 36 l/s, equivale a 129,6 m³/h. Esa ventilación, en el volumen de 277,51 m³ de la vivienda equivale a 0,467 ren/h.

- Edificio 4, para cada una de las viviendas.
 - Secos:
 - 1 salón-comedor. 10 l/s
 - 1 vestíbulo. - l/s
 - 1 habitación doble. 8 l/s
 - 1 habitación simple. 4 l/s

- **Total.** **22 l/s**
- Húmedos:
 - 1 aseo. 8 l/s
 - 1 comedor-cocina. 8 l/s
 - **Total.** **Mínimo 33 l/s.**

El máximo valor, 33 l/s, equivale a 118,8 m³/h. Esa ventilación, en el volumen de 170,26 m³ de la vivienda equivale a 0,698 ren/h.

Para el caudal máximo de ACS, afectado por el perfil de uso mostrado en *Tabla 141*, se acude al DB-HE4 y se trabaja con las Tabla 4.1-4.3 (Ministerio de Fomento, 2017), las cuales se reproducen a continuación.

Tabla 4.1. Demanda de referencia a 60 °C⁽¹⁾

Criterio de demanda	Litros/día·unidad	unidad
Vivienda	28	Por persona
Hospitales y clínicas	55	Por persona
Ambulatorio y centro de salud	41	Por persona
Hotel *****	69	Por persona
Hotel ****	55	Por persona
Hotel ***	41	Por persona
Hotel/hostal **	34	Por persona
Camping	21	Por persona
Hostal/pensión *	28	Por persona
Residencia	41	Por persona
Centro penitenciario	28	Por persona
Albergue	24	Por persona
Vestuarios/Duchas colectivas	21	Por persona
Escuela sin ducha	4	Por persona
Escuela con ducha	21	Por persona
Cuarteles	28	Por persona
Fábricas y talleres	21	Por persona
Oficinas	2	Por persona
Gimnasios	21	Por persona
Restaurantes	8	Por persona
Cafeterías	1	Por persona

Tabla 4.2. Valores mínimos de ocupación de cálculo en uso residencial privado

Número de dormitorios	1	2	3	4	5	6	≥6
Número de Personas	1,5	3	4	5	6	6	7

Tabla 144. Tabla sobre la ocupación asociada a la demanda de ACS

Tabla 4.3. Valor del factor de centralización

Nº viviendas	N≤3	4≤N≤10	11≤N≤20	21≤N≤50	51≤N≤75	76≤N≤100	N≥101
Factor de centralización	1	0,95	0,90	0,85	0,80	0,75	0,70

Tabla 145. Tabla sobre el factor de centralización asociado a la demanda de ACS

Tabla 143. Tabla sobre la demanda de referencia de ACS

Por lo tanto, se tiene lo siguiente en lo relativo al caudal máximo de ACS para los edificios considerados.

- Edificio 2.

Como se tiene 3 dormitorios, en virtud de lo expuesto en las tablas anteriores se sigue,

$$4 [\text{personas}] \cdot 28 \left[\frac{l}{\text{persona} \cdot \text{día}} \right] = 112 \left[\frac{l}{\text{día}} \right]$$

- Edificio 4.

Se asume una demanda centralizada, cada vivienda tiene 2 habitaciones, con 4 viviendas por planta y 5 plantas en el total del bloque. En virtud de lo expuesto en las tablas anteriores, se tiene lo siguiente.

$$0,95 \cdot 60 [\text{personas}] \cdot 28 \left[\frac{l}{\text{persona} \cdot \text{día}} \right] = 1.596 \left[\frac{l}{\text{día}} \right]$$

ANEXO II. FICHEROS CLIMÁTICOS

INTRODUCCIÓN

En la realización del presente trabajo se ha detectado una diferencia entre los ficheros climáticos empleados por los programas oficiales. Los ficheros climáticos oficiales son los disponibles en la página web del Ministerio competente. Indudablemente, los resultados de cualquier simulación energética de los edificios se ven afectada por el empleo de un fichero climático u otro. Con el objetivo de evidenciar los cambios más importantes, se redacta este documento anexo para conocimiento del lector.

PRODECIMIENTO

El procedimiento seguido ha consistido en trasladar a una hoja de cálculo las variables meteorológicas presentes en cada uno de los ficheros. Se ha tomado como referencia las variables climáticas oficiales, publicadas por el Ministerio en su página web oficial. Para aquellos programas que no tenían los parámetros oficiales, se han calculado siguiendo las correlaciones utilizadas por cada referencia.

Conviene destacar que los datos climáticos oficiales del Ministerio competente, en formato **.MET*, están expresados en hora solar, tal y como se indica en la documentación de referencia (IDAE, 2009a). También se remarca que los ficheros de simulación utilizados por los programas HULC y CERMA utilizan unos ficheros en formato **.bin*, los cuales están expresados también en hora solar. Finalmente, los programas basados en EnergyPlus, también se encuentran modelados haciendo uso de ficheros climáticos configurados en hora solar, aunque en formato **.epw*.

A continuación, se expone un desglose de las variables contenidas en cada uno de los ficheros climáticos utilizados por los programas analizados en este trabajo. El análisis comparativo que se ha realizado comprende todas las horas del año. Sin embargo, por simplicidad y practicidad para el lector, se muestra a continuación únicamente una representación tabulada de las 24 primeras horas del año para las tres variables normativas en cuanto a datos climáticos determinantes. Es suficiente para observar las diferencias existentes.

ZonaD3.met -15				T_bs (°C)						HR (%)			I_hor (Wh/m2)				
40.41	-3.68	667		.MET		.xml (CERMA)		.bin (HULC & CE3)		.MET		.xml (CERMA)		.bin (HULC & CE3)		.epw [SG-SAVE & CYPETHERM]	
1	1	1	1	4.7	7.22	7.22	10	73.7124	-	79.27	75	0	0	0	0	0	0
1	1	2	2	4.6	9.44	9.44	9.9	73.3901	-	80.83	75	0	0	0	0	0	0
1	1	3	3	4.2	8.89	8.89	9.4	75.1166	-	80.46	77	0	0	0	0	0	0
1	1	4	4	4.1	8.33	8.33	8.9	75.791	-	86.6	79	0	0	0	0	0	0
1	1	5	5	3.6	8.33	8.33	8.3	79.1443	-	80.08	81	0	0	0	0	0	0
1	1	6	6	3.3	7.22	7.22	7.8	81.9125	-	86.06	84	0	0	0	0	0	0
1	1	7	7	3.2	7.22	7.22	7.2	83.9413	-	86.06	86	0	0	0	0	0	0
1	1	8	8	2.9	7.22	7.22	6.9	87.4595	-	86.06	88	21	6.31	6.31	1	1	1
1	1	9	9	3.2	8.33	8.33	7.4	87.3752	-	80.08	86	34	321.39	359.54	278	278	278
1	1	10	10	4.3	10	10	9	82.43	-	75.14	79	55	583.91	634.93	487	487	487
1	1	11	11	5.4	11.67	11.67	10.9	77.6407	-	70.84	72	77	588.52	616.47	697	697	697
1	1	12	12	6.6	12.22	12.22	12.1	72.413	-	71.35	68	180	285.8	288.48	515	515	515
1	1	13	13	7.8	11.67	11.67	12	67.2715	-	70.84	69	129	123.51	123.4	154	154	154
1	1	14	14	8.2	11.11	11.11	11.5	65.6821	-	76.03	71	113	50.46	50.47	91	91	91
1	1	15	15	8.5	10.56	10.56	10.7	64.1978	-	75.6	75	98	101.97	99.9	41	41	41
1	1	16	16	7.7	10.56	10.56	10.5	67.2343	-	75.6	75	77	148.31	140.23	138	138	138
1	1	17	17	7.4	10	10	10.1	67.6669	-	75.14	76	22	75.69	28.39	147	147	147
1	1	18	18	6.5	9.44	9.44	9.6	70.6172	-	80.83	79	0	0	3.15	5	5	5
1	1	19	19	5.8	9.44	9.44	9.4	72.3969	-	80.83	79	0	0	0	0	0	0
1	1	20	20	5.3	8.89	8.89	9.1	72.99	-	80.46	80	0	0	0	0	0	0
1	1	21	21	4.9	8.89	8.89	8.8	72.9467	-	80.46	80	0	0	0	0	0	0
1	1	22	22	4.4	8.33	8.33	8.7	73.4138	-	86.6	80	0	0	0	0	0	0
1	1	23	23	4.1	8.33	8.33	8.4	72.9636	-	80.08	80	0	0	0	0	0	0
1	1	24	24	4.3	8.33	8.33	8.2	70.2659	-	80.08	81	0	0	0	0	0	0

Tabla 146. Primeras 24 h del año para los datos climáticos determinantes de cada fichero utilizado por cada programa reconocido. Elaboración propia.

De un modo gráfico, para todo el año, se tiene lo siguiente respecto a las diferentes variables climáticas analizadas. Se toma como referencia siempre los datos climáticos en formato *.MET.

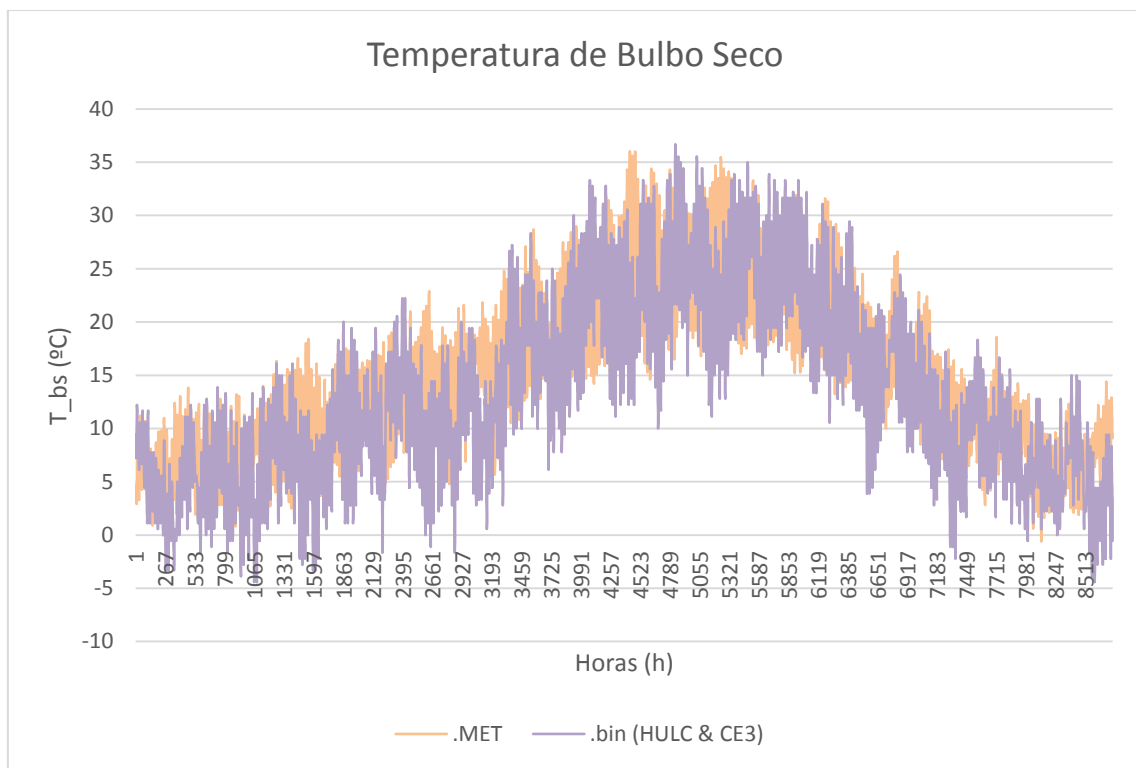


Gráfico 5. Temperatura de bulbo seco horaria para cada fichero climático utilizado por HULC y CE3. Elaboración propia.

Se observa que la referencia queda muy desviada de los valores de los ficheros climáticos utilizados por el programa de referencia, HULC, así como por CE3, que utiliza los mismos ficheros.

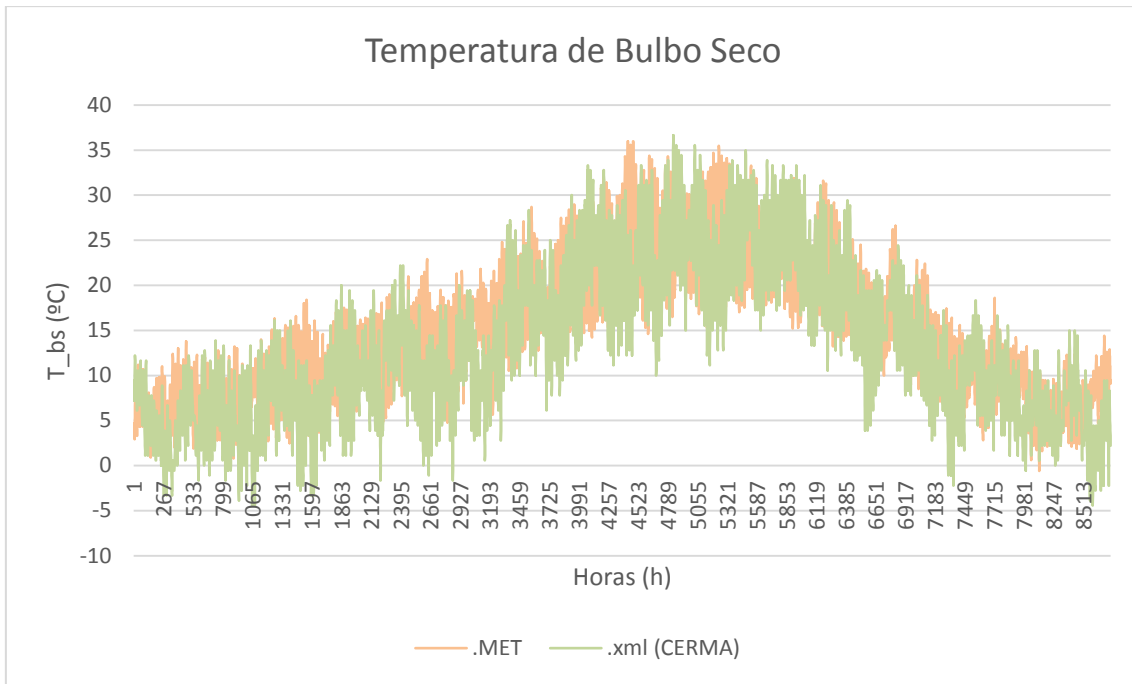


Gráfico 6. Temperatura de bulbo seco horaria para cada fichero climático utilizado por CERMA. Elaboración propia.

Se puede observar que se tiene una situación similar con CERMA.

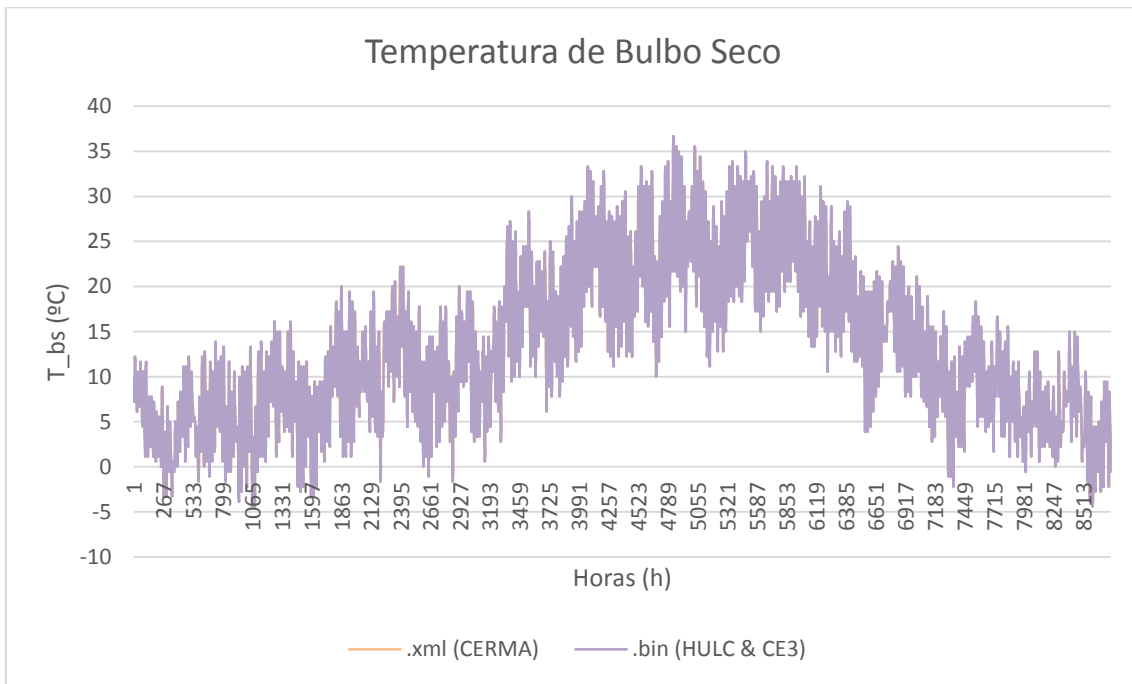


Gráfico 7. Comparativa de temperatura de bulbo seco horaria para cada fichero climático utilizado por HULC, CE3 y CERMA. Elaboración propia.

Eso es así porque, pese a emplear formatos diferentes, los ficheros climáticos de HULC, CE3 y CERMA sí son los mismos prácticamente, coincidiendo de manera total en los valores de temperatura de bulbo seco y presentando ligeras diferencias para otras variables ambientales.

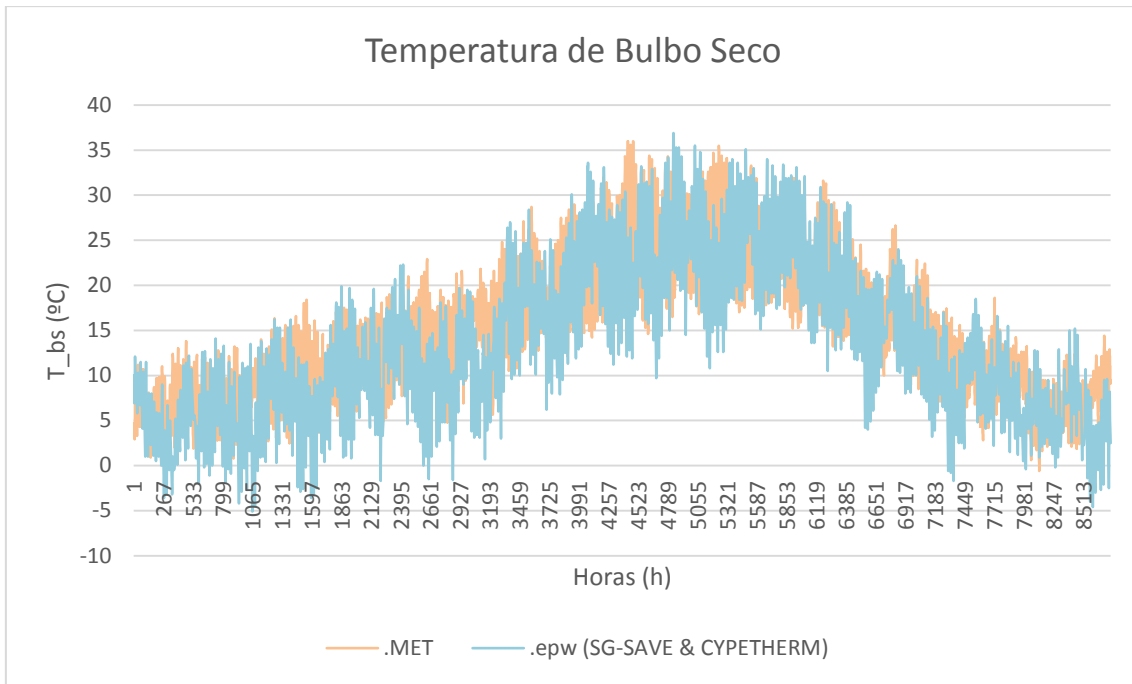


Gráfico 8. Temperatura de bulbo seco horaria para cada fichero climático utilizado por SG-SAVE y CYPETHERM HE PLUS. Elaboración propia.

Los ficheros en formato *.epw, utilizados por los programas de iniciativa privada recientemente reconocidos como oficiales, también difieren de los ficheros climáticos de referencia.

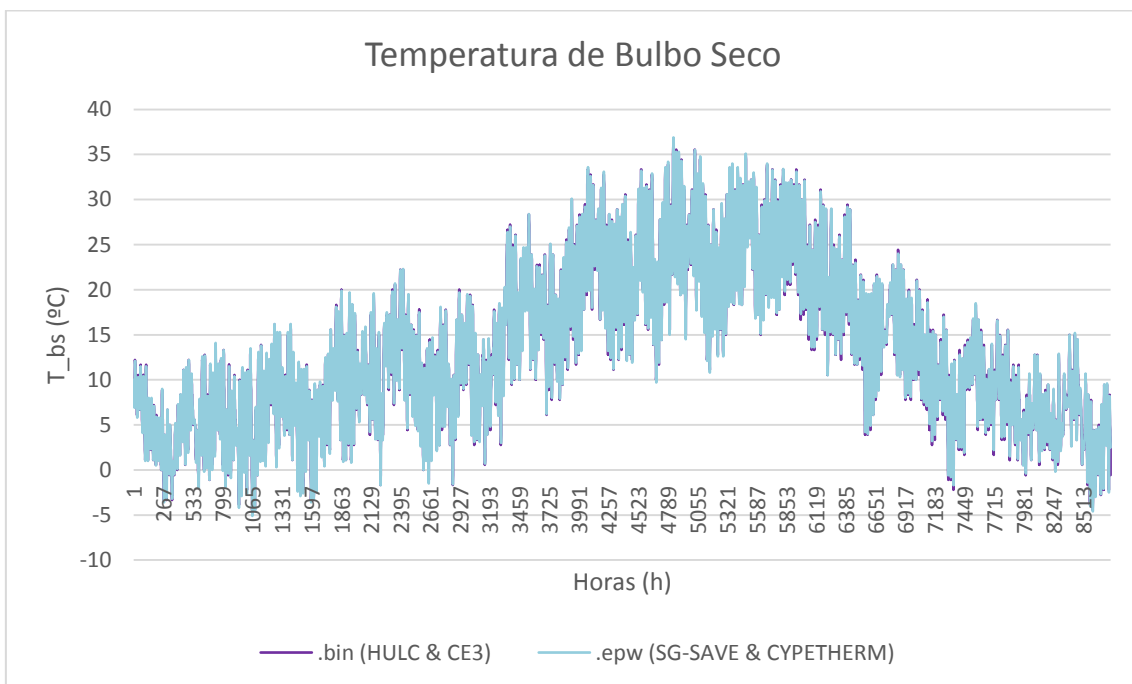


Gráfico 9. Comparativa de temperatura de bulbo seco horaria para cada fichero climático utilizado por HULC, y SG-SAVE y CYPETHERM HE PLUS. Elaboración propia.

Se observa que, a pesar de la diferencia mutua de los ficheros climáticos con formato *.epw y *.bin con los oficiales, entre sí también presentan diferencias. No así como sucedía en la comparativa mostrada en el Gráfico 7.

A continuación, se muestra, a modo de resumen, una representación de la temperatura de bulbo seco realizada por cada uno de los ficheros climáticos analizados.

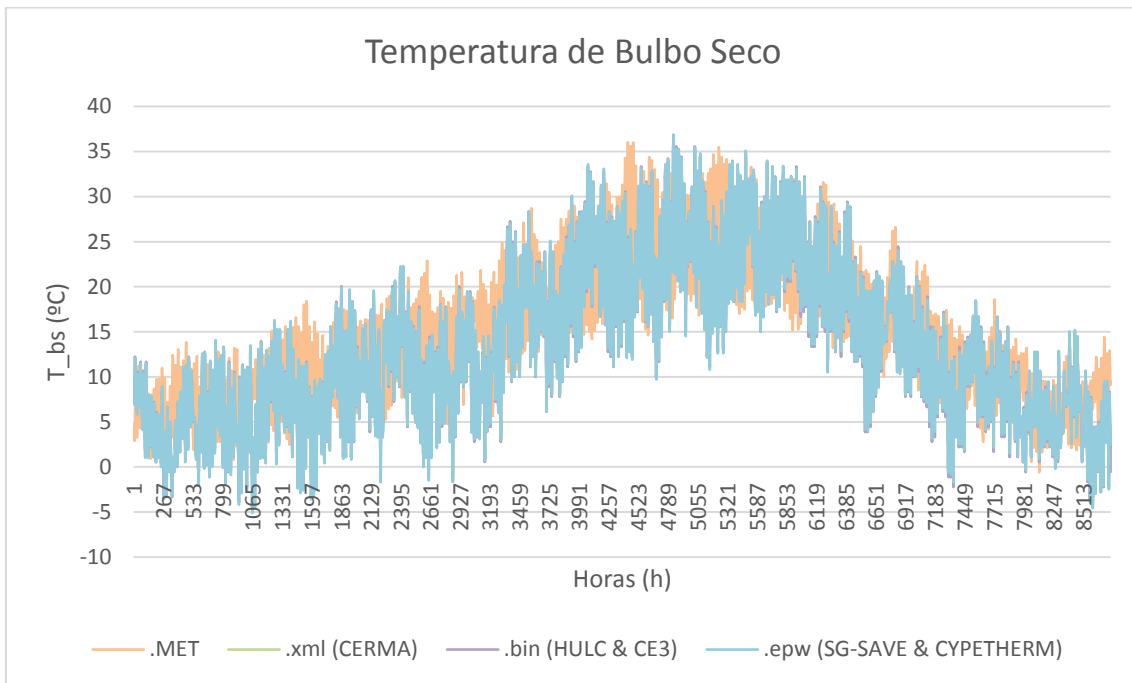


Gráfico 10. Comparativa de temperatura de bulbo seco horaria para cada fichero climático. Elaboración propia.

Conclusiones completamente análogas se pueden obtener al analizar las otras dos variables climáticas determinantes.

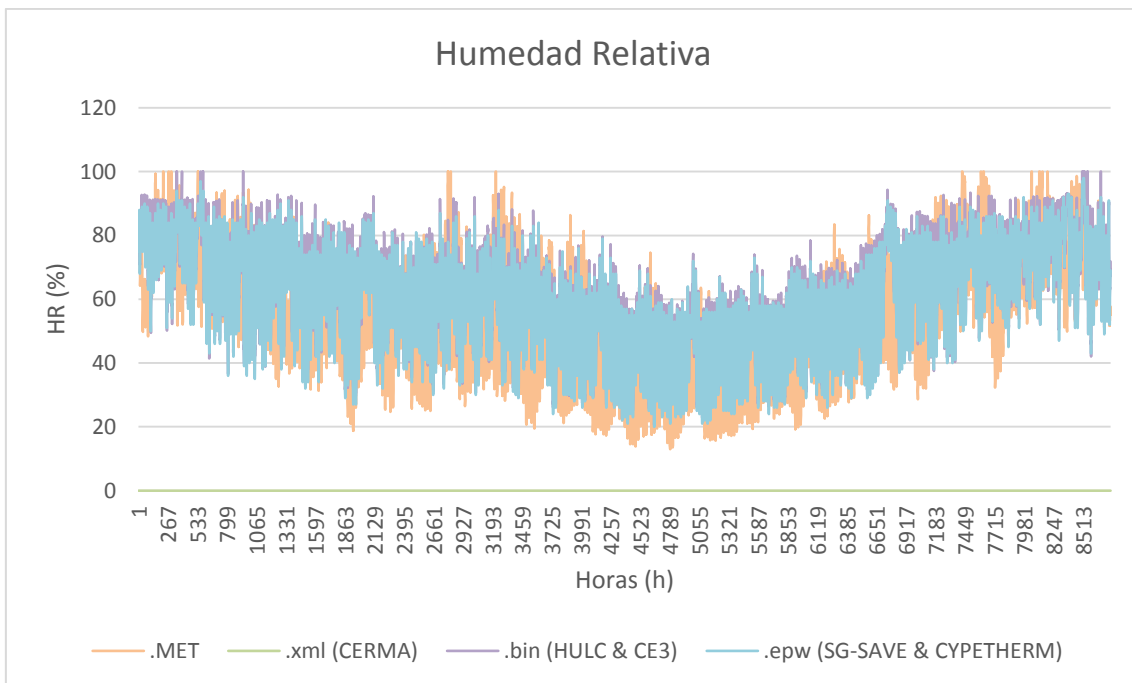


Gráfico 11. Comparativa de humedad relativa horaria para cada fichero climático. Elaboración propia.

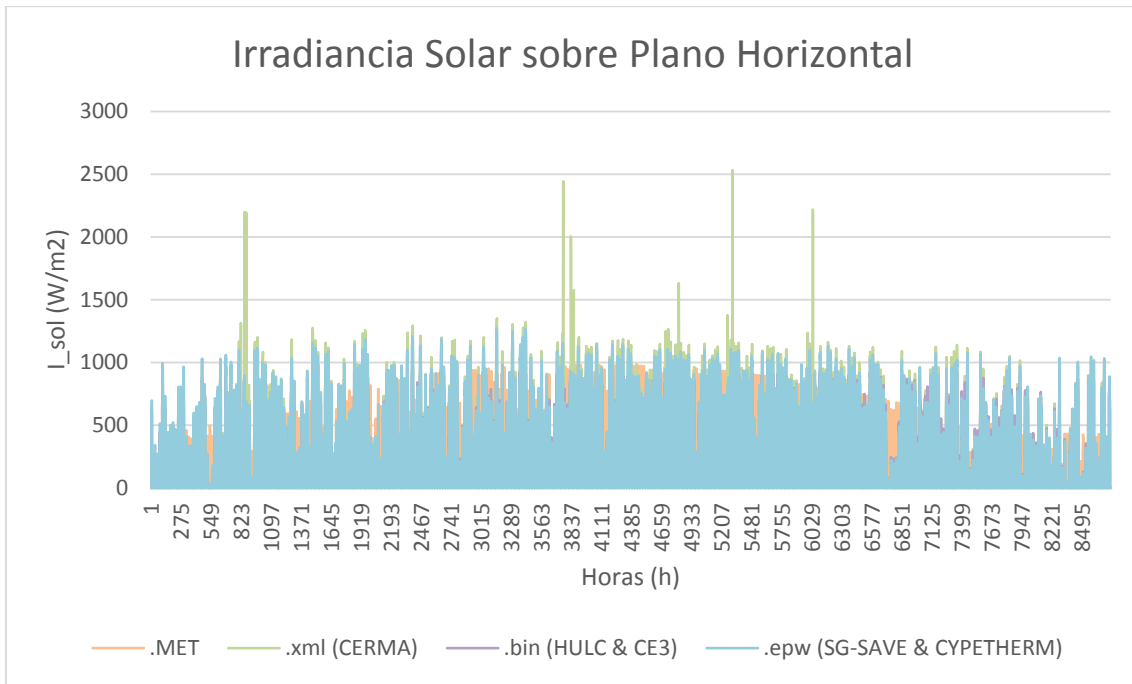


Gráfico 12. Comparativa de irradiancia solar sobre plano horizontal horaria para cada fichero climático. Elaboración propia.

Destacar que para los ficheros climáticos utilizados por el programa CERMA no se representa la humedad relativa puesto que es una variable que no utiliza. Sin embargo, sí puede representarse la humedad específica, la cual sí contempla.

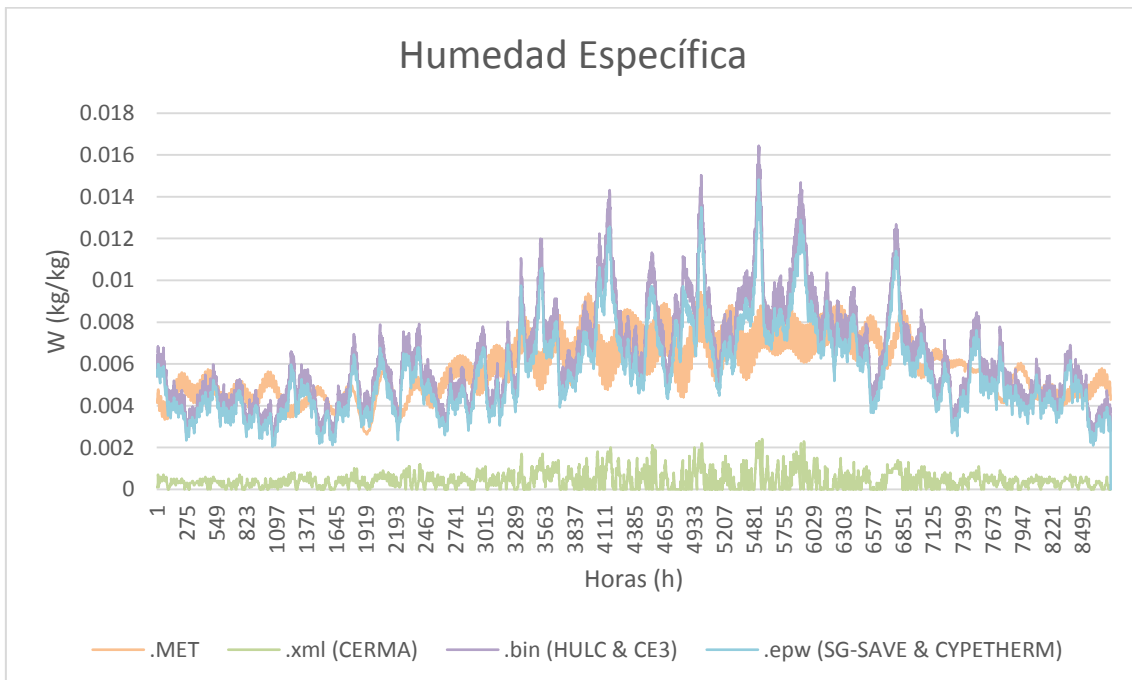


Gráfico 13. Comparativa de humedad específica horaria para cada fichero climático. Elaboración propia.

Por otro lado, y como se ha ido mencionando en cada análisis de cada programa a lo largo del *Capítulo 4. Programas de simulación* no todos los programas hacen uso de todas las variables climáticas determinantes y no determinantes. Claramente existen diferencias demasiado

grandes en un tipo de dato que debería ser de entrada y, a juicio de quien suscribe este trabajo, completamente idéntico independientemente del modelo de cálculo o del procedimiento de calificación energética utilizado.

Para la realización del caso con un modelo energético original de los edificios objeto del análisis de este trabajo, se ha generado un fichero en formato *.epw completamente idéntico a los con formato *.MET. Son estos los utilizados por el de *Modelo propio*.

ÍNDICE DE RECURSOS

ÍNDICE DE FIGURAS

MEMORIA

Figura 1. Edificio 2, vivienda unifamiliar. SketchUp.	7
Figura 2. Edificio 4, viviendas en bloque. IFC Builder.....	7
Figura 3. Flujos de energía en un edificio.....	10
Figura 4. Definición volumétrica asociada a DOE2. Elaboración propia.	11
Figura 5. Definición volumétrica asociada a DOE2. Elaboración propia.	12
Figura 6. Interfaz gráfica de HULC.....	33
Figura 7. Gestor de condiciones operacionales de HULC.....	34
Figura 8. Periodo de aplicación de elementos de sombra en huecos. HULC.....	34
Figura 9. Gestor de cerramientos opacos y base de datos de HULC.	37
Figura 10. Gestor de cerramientos semitransparentes y base de datos de HULC.....	40
Figura 11. Demanda del edificio de viviendas unifamiliar de referencia modelado como residencial. HULC.	42
Figura 12. Demanda del edificio de viviendas en bloque de referencia modelado como residencial. HULC.	42
Figura 13. Gestor de condiciones operacionales de CE3.	44
Figura 14. Definición constructiva con mensaje de error de CE3.	46
Figura 15. Limitaciones asociadas al cerramiento por defecto en CE3.....	46
Figura 16. Limitaciones asociadas a la definición de puentes térmicos en CE3.	47
Figura 17. Función para obtención de factor corrector de puentes térmicos en CE3.	47
Figura 18. Definición de huecos en CE3.	49
Figura 19. Demanda del edificio de vivienda unifamiliar de referencia modelado como residencial y definido con planos. CE3.....	50
Figura 20. Demanda del edificio de vivienda unifamiliar de referencia modelado como residencial y definido por superficies. CE3.	50
Figura 21. Demanda del edificio de vivienda en bloque de referencia modelado como residencial y definido con planos. CE3.	50

Figura 22. Demanda del edificio de vivienda en bloque de referencia modelado como residencial y definido por superficies. CE3.....	50
Figura 23. Definición de la envolvente térmica del edificio en CE3X.....	52
Figura 24. Gestor de condiciones operacionales de CE3X.	53
Figura 25. Definición constructiva de CE3X.....	53
Figura 26. Selector de la absortividad del marco de huecos en función del color. CE3X.	56
Figura 27. Demanda del edificio de vivienda unifamiliar de referencia modelado como residencial. CE3X.	57
Figura 28. Mensaje de error sobre la imposibilidad de calificar el edificio en bloque. CE3X.	57
Figura 29. Gestor de sombras del entorno de CERMA.....	58
Figura 30. Definición constructiva de CERMA.....	61
Figura 31. Demanda del edificio de vivienda unifamiliar de referencia modelado como residencial. CERMA.	64
Figura 32. Demanda del edificio de vivienda en bloque de referencia modelado como residencial. CERMA.....	64
Figura 33. Demanda detallada del edificio de vivienda unifamiliar de referencia modelado como residencial. CERMA.	65
Figura 34. Temperatura y demanda horarias detallada del edificio de vivienda unifamiliar de referencia modelado como residencial. CERMA.....	65
Figura 35. Definición y simulación directa del edificio de referencia. SG-SAVE.	66
Figura 36. Definición del caso de la vivienda en SketchUp.	67
Figura 37. Ejemplo de error de definición geométrica en SketchUp.	68
Figura 38. Introducción de mobiliario en el modelo del edificio. SG-SAVE.	72
Figura 39. Hoja de transmitancias de cerramientos del edificio. SG-SAVE.....	73
Figura 40. Extracto del informe de SG-SAVE sobre puentes térmicos.....	74
Figura 41. Demanda de calefacción del edificio de vivienda unifamiliar de referencia residencial. SG-SAVE.....	76
Figura 42. Demanda de refrigeración del edificio de vivienda unifamiliar de referencia residencial. SG-SAVE.	76
Figura 43. Demanda de calefacción del edificio de viviendas en bloque de referencia residencial. SG-SAVE.....	76
Figura 44. Demanda de refrigeración del edificio de viviendas en bloque de referencia residencial. SG-SAVE.	76
Figura 45. Demanda detallada de calefacción del edificio de vivienda unifamiliar de referencia residencial. SG-SAVE.	77

Figura 46. Demanda detallada de refrigeración del edificio de vivienda unifamiliar referencia residencial. SG-SAVE.	77
Figura 47. Definición de los datos del emplazamiento del edificio en CYPETHERM HE PLUS. ...	78
Figura 48. Ejemplo de definición geométrica en IFC Builder.	79
Figura 49. Ejemplo de definición de suelos en contacto con el terreno en CYPETHERM HE PLUS.	83
Figura 50. Puentes térmicos en el edificio de viviendas en bloque. CYPETHERM HE PLUS.....	84
Figura 51. Demanda energética del edificio de referencia de vivienda unifamiliar residencial. CYPETHERM HE PLUS.	87
Figura 52. Demanda energética del edificio de referencia de viviendas en bloque residencial. CYPETHERM HE PLUS.	87
Figura 53. Informes complementarios. CYPETHERM HE PLUS.....	87
Figura 54. Ejemplo de desglose de demanda energética en Listado HE1. CYPETHERM HE PLUS.	88
Figura 55. Selector de fichero constructivo y fichero climático. EnergyPlus.	89
Figura 56. Ejemplo de definición geométrica en Genera 3D.	90
Figura 57. Información por defecto de conductos con bomba de calor aire-aire. HULC.....	106
Figura 58. Información por defecto de conductos con bomba de calor aire-aire. CE3.	107
Figura 59. Información por defecto de conductos con bomba de calor aire-aire. CE3X.	108
Figura 60. Información por defecto de conductos con bomba de calor aire-aire. CERMA.	109
Figura 61. Información por defecto de conductos con bomba de calor aire-aire. SG-SAVE. ...	111
Figura 62. Información por defecto de conductos con bomba de calor aire-aire. CYPETHERM HE PLUS.....	112

ÍNDICE DE TABLAS

MEMORIA

Tabla 1. Desglose superficial del Edificio 2.....	8
Tabla 2. Desglose superficial del Edificio 4.....	8
Tabla 3. Condiciones técnicas relativas a las Solicitaciones Exteriores. (Ministerio de Industria Energía y Turismo, 2015b).....	15
Tabla 4. Propuesta de indicaciones para las Condiciones técnicas relativas a las Solicitaciones Exteriores. Elaboración propia.	17
Tabla 5. Condiciones técnicas relativas a las Solicitaciones Interiores y Condiciones Operacionales. (Ministerio de Industria Energía y Turismo, 2015b).	17
Tabla 6. Tabla sobre elemento de sombra estacional por defecto para viviendas. (IDAE, 2009b).	18
Tabla 7. Condiciones técnicas relativas a las Condiciones de Contorno en las Superficies Interiores y Exteriores. (Ministerio de Industria Energía y Turismo, 2015b).....	19
Tabla 8 (cont. Tabla 7). Condiciones técnicas relativas a las Condiciones de Contorno en las Superficies Interiores y Exteriores. (Ministerio de Industria Energía y Turismo, 2015b)	20
Tabla 9 (cont. Tabla 7). Condiciones técnicas relativas a las Condiciones de Contorno en las Superficies Interiores y Exteriores. (Ministerio de Industria Energía y Turismo, 2015b)	20
Tabla 10. Modificación propuesta para lo expuesto en la <i>Tabla 7</i> . Elaboración propia.....	22
Tabla 11. Modificación propuesta para lo expuesto en la <i>Tabla 9</i> . Elaboración propia.....	22
Tabla 12. Condiciones técnicas relativas a la Transmisión y Radiación en Cerramientos Opacos y el Terreno. (Ministerio de Industria Energía y Turismo, 2015b).....	23
Tabla 13. Condiciones técnicas relativas a la Transmisión y Radiación en Huecos. (Ministerio de Industria Energía y Turismo, 2015b)	24
Tabla 14. Tabla sobre la transmitancia térmica de las puertas.....	24
Tabla 15. Tabla sobre las propiedades ópticas a partir del factor solar de los huecos.....	25
Tabla 16. Tabla sobre la variación de las propiedades anteriores con el ángulo de incidencia .	25
Tabla 17. Condiciones técnicas relativas a la Renovación de Aire. (Ministerio de Industria Energía y Turismo, 2015b).....	26
Tabla 18 (cont. Tabla 17). Condiciones técnicas relativas a la Renovación de Aire. (Ministerio de Industria Energía y Turismo, 2015b)	26

Tabla 19. (cont. Tabla 17). Condiciones técnicas relativas a la Renovación de Aire. (Ministerio de Industria Energía y Turismo, 2015b)	27
Tabla 20. Propuesta de modificación parcial de Condiciones técnicas relativas a la Renovación de Aire. Elaboración propia.....	29
Tabla 21. Añadido a las Condiciones técnicas relativas a la Renovación de Aire. Elaboración propia.	29
Tabla 22. Condiciones técnicas relativas a los Equipos. (Ministerio de Industria Energía y Turismo, 2015b)	29
Tabla 23. Tabla resumen sobre el tratamiento de HULC a las Condiciones técnicas relativas a Solicitaciones Exteriores. Elaboración propia.	32
Tabla 24. Tabla resumen sobre el tratamiento de HULC a las Condiciones técnicas relativas a Solicitaciones Interiores de cálculo y Condiciones Operacionales. Elaboración propia.	35
Tabla 25. Tabla resumen sobre el tratamiento de HULC a las Condiciones técnicas relativas a Condiciones de Contorno en las superficies Interiores y Exteriores. Elaboración propia.	35
Tabla 26 (cont. Tabla 25). Tabla resumen sobre el tratamiento de HULC a las Condiciones técnicas relativas a Condiciones de Contorno en las superficies Interiores y Exteriores. Elaboración propia.	35
Tabla 27 (cont. Tabla 25). Tabla resumen sobre el tratamiento de HULC a las Condiciones técnicas relativas a Condiciones de Contorno en las superficies Interiores y Exteriores. Elaboración propia.	36
Tabla 28. Desglose de longitudes de puentes térmicos normativos en HULC. Elaboración propia.	36
Tabla 29. Desglose de características térmicas del muro exterior. Elaboración propia.	37
Tabla 30. Desglose de características térmicas del muro exterior completo. Elaboración propia.	37
Tabla 31. Desglose de características térmicas de muro exterior completo comparativo con HULC. Elaboración propia.	38
Tabla 32. Desglose de características térmicas de cubierta completo comparativo con HULC. Elaboración propia.	38
Tabla 33. Desglose de características térmicas de medianera completo comparativo con HULC. Elaboración propia.	38
Tabla 34. Desglose de características térmicas de forjado al terreno completo comparativo con HULC. Elaboración propia.	38
Tabla 35. Desglose de características térmicas de suelo interior completo comparativo con HULC. Elaboración propia.	39
Tabla 36. Desglose de características térmicas de techo interior completo comparativo con HULC. Elaboración propia.	39

Tabla 37. Desglose de características térmicas de tabique completo comparativo con HULC. Elaboración propia.	39
Tabla 38. Tabla resumen sobre el tratamiento de HULC a las Condiciones técnicas relativas a Transmisión y radiación en cerramientos opacos y el terreno. Elaboración propia.....	39
Tabla 39. Tabla resumen sobre el tratamiento de HULC a las Condiciones técnicas relativas a Transmisión y radiación en huecos. Elaboración propia.....	40
Tabla 40. Tabla resumen sobre el tratamiento de HULC a las Condiciones técnicas relativas a Renovación de aire. Elaboración propia.	41
Tabla 41 (cont. Tabla 40). Tabla resumen sobre el tratamiento de HULC a las Condiciones técnicas relativas a Renovación de aire. Elaboración propia.	41
Tabla 42. Tabla resumen sobre el tratamiento de CE3 a las Condiciones técnicas relativas a Transmisión y radiación en cerramientos opacos y el terreno. Elaboración propia.....	48
Tabla 43. Tabla resumen sobre el tratamiento de CE3 a las Condiciones técnicas relativas a Transmisión y radiación en huecos. Elaboración propia.....	49
Tabla 44. Desglose de longitudes de puentes térmicos normativos en CE3X. Elaboración propia.	54
Tabla 45. Tabla resumen sobre el tratamiento de CERMA a las Condiciones técnicas relativas a Solicitaciones Exteriores. Elaboración propia.	59
Tabla 46. Cerramiento equivalente al mobiliario en CERMA. Elaboración propia.	60
Tabla 47. Tabla resumen sobre el tratamiento de CERMA a las Condiciones técnicas relativas a Condiciones de contorno en las superficies interiores y exteriores. Elaboración propia.....	60
Tabla 48 (cont. Tabla 47). Tabla resumen sobre el tratamiento de CERMA a las Condiciones técnicas relativas a Condiciones de contorno en las superficies interiores y exteriores. Elaboración propia.	60
Tabla 49 (cont. Tabla 47). Tabla resumen sobre el tratamiento de CERMA a las Condiciones técnicas relativas a Condiciones de contorno en las superficies interiores y exteriores. Elaboración propia.	60
Tabla 50. Desglose de transmitancias térmicas de cerramientos en CERMA. Elaboración propia.	61
Tabla 51. Desglose de longitudes de puentes térmicos normativos en CERMA. Elaboración propia.	62
Tabla 52. Tabla resumen sobre el tratamiento de CERMA a las Condiciones técnicas relativas a Transmisión y radiación en cerramientos opacos y el terreno. Elaboración propia.....	62
Tabla 53. Tabla resumen sobre el tratamiento de CERMA a las Condiciones técnicas relativas a Transmisión y radiación en huecos. Elaboración propia.....	63
Tabla 54. Tabla resumen sobre el tratamiento de CERMA a las Condiciones técnicas relativas a Renovación de aire. Elaboración propia.	63

Tabla 55 (cont. Tabla 54). Tabla resumen sobre el tratamiento de CERMA a las Condiciones técnicas relativas a Renovación de aire. Elaboración propia.	63
Tabla 56. Tabla resumen sobre el tratamiento de SG-SAVE a las Condiciones técnicas relativas a Solicitaciones exteriores. Elaboración propia.	67
Tabla 57. Desglose de perfil horario residencial de ocupación definido por SG-SAVE. Elaboración propia.	69
Tabla 58. Desglose de carga por ocupación sensible horaria definido por SG-SAVE. Elaboración propia.	69
Tabla 59. Desglose de carga por ocupación latente horaria definido por SG-SAVE. Elaboración propia.	69
Tabla 60. Desglose de perfil horario residencial de iluminación definido por SG-SAVE. Elaboración propia.	70
Tabla 61. Desglose de carga por iluminación horaria definido por SG-SAVE. Elaboración propia.	70
Tabla 62. Tabla resumen sobre el tratamiento de SG-SAVE a las Condiciones técnicas relativas a Solicitaciones interiores. Elaboración propia.	70
Tabla 63. Tabla resumen sobre el tratamiento de SG-SAVE a las Condiciones técnicas relativas a Condiciones de contorno en las superficies interiores y exteriores. Elaboración propia.	71
Tabla 64 (cont. Tabla 63). Tabla resumen sobre el tratamiento de SG-SAVE a las Condiciones técnicas relativas a Condiciones de contorno en las superficies interiores y exteriores. Elaboración propia.	71
Tabla 65 (cont. Tabla 63). Tabla resumen sobre el tratamiento de SG-SAVE a las Condiciones técnicas relativas a Condiciones de contorno en las superficies interiores y exteriores. Elaboración propia.	72
Tabla 66. Muro exterior de referencia en SG-SAVE. Elaboración propia.	73
Tabla 67. Cubierta de referencia en SG-SAVE. Elaboración propia.	73
Tabla 68. Forjado al terreno de referencia en SG-SAVE. Elaboración propia.	73
Tabla 69. Tabla resumen sobre el tratamiento de SG-SAVE a las Condiciones técnicas relativas a Transmisión y radiación en cerramientos opacos y el terreno. Elaboración propia.	74
Tabla 70. Tabla resumen sobre el tratamiento de SG-SAVE a las Condiciones técnicas relativas a Transmisión y radiación en huecos. Elaboración propia.	75
Tabla 71. Tabla resumen sobre el tratamiento de SG-SAVE a las Condiciones técnicas relativas a Renovación de aire. Elaboración propia.	75
Tabla 72 (cont. Tabla 71). Tabla resumen sobre el tratamiento de SG-SAVE a las Condiciones técnicas relativas a Renovación de aire. Elaboración propia.	76
Tabla 73. Desglose de perfil horario residencial de ocupación definido por CYPETHERM HE PLUS. Elaboración propia.	80

Tabla 74. Desglose de carga por ocupación sensible horaria definido por CYPETHERM HE PLUS. Elaboración propia.	80
Tabla 75. Desglose de carga por ocupación latente horaria definido por CYPETHERM HE PLUS. Elaboración propia.	80
Tabla 76. Desglose de perfil horario residencial de iluminación definido por CYPETHERM HE PLUS. Elaboración propia.	81
Tabla 77. Desglose de carga por iluminación horaria definido por CYPETHERM HE PLUS. Elaboración propia.	81
Tabla 78. Tabla resumen sobre el tratamiento de CYPETHERM HE PLUS a las Condiciones técnicas relativas a Solicitaciones interiores. Elaboración propia.	81
Tabla 79. Tabla resumen sobre el tratamiento de CYPETHERM HE PLUS a las Condiciones técnicas relativas a Condiciones de contorno en las superficies interiores y exteriores. Elaboración propia.	82
Tabla 80 (cont. Tabla 79). Tabla resumen sobre el tratamiento de CYPETHERM HE PLUS a las Condiciones técnicas relativas a Condiciones de contorno en las superficies interiores y exteriores. Elaboración propia.	82
Tabla 81 (cont. Tabla 79). Tabla resumen sobre el tratamiento de CYPETHERM HE PLUS a las Condiciones técnicas relativas a Condiciones de contorno en las superficies interiores y exteriores. Elaboración propia.	83
Tabla 82. Muro exterior de referencia en CYPETHERM HE PLUS. Elaboración propia.	84
Tabla 83. Cubierta de referencia en CYPETHERM HE PLUS. Elaboración propia.	84
Tabla 84. Forjado al terreno de referencia en CYPETHERM HE PLUS. Elaboración propia.	84
Tabla 85. Tabla resumen sobre el tratamiento de CYPETHERM HE PLUS a las Condiciones técnicas relativas a Transmisión y radiación en cerramientos opacos y el terreno. Elaboración propia.	85
Tabla 86. Tabla resumen sobre el tratamiento de CYPETHERM HE PLUS a las Condiciones técnicas relativas a Transmisión y radiación en huecos. Elaboración propia.	85
Tabla 87. Tabla resumen sobre el tratamiento de CYPETHERM HE PLUS a las Condiciones técnicas relativas a Renovación de aire. Elaboración propia.	86
Tabla 88 (cont. Tabla 87). Tabla resumen sobre el tratamiento de CYPETHERM HE PLUS a las Condiciones técnicas relativas a Renovación de aire. Elaboración propia.	86
Tabla 89. Tabla resumen sobre el tratamiento del Modelo propio a las Condiciones técnicas relativas a Solicitaciones exteriores. Elaboración propia.	90
Tabla 90. Tabla resumen sobre el tratamiento del Modelo propio a las Condiciones técnicas relativas a Solicitaciones interiores. Elaboración propia.	91
Tabla 91. Tabla resumen sobre el tratamiento del modelo propio a las Condiciones técnicas relativas a Condiciones de contorno en las superficies interiores y exteriores. Elaboración propia.	92

Tabla 92 (cont. Tabla 91). Tabla resumen sobre el tratamiento del modelo propio a las Condiciones técnicas relativas a Condiciones de contorno en las superficies interiores y exteriores. Elaboración propia.....	92
Tabla 93 (cont. Tabla 91). Tabla resumen sobre el tratamiento del modelo propio a las Condiciones técnicas relativas a Condiciones de contorno en las superficies interiores y exteriores. Elaboración propia.....	92
Tabla 94. Desglose de longitudes de puentes térmicos normativos en Modelo propio. Elaboración propia.....	93
Tabla 95. Tabla resumen sobre el tratamiento del Modelo propio a las Condiciones técnicas relativas a Transmisión y radiación en cerramientos opacos y el terreno. Elaboración propia.	93
Tabla 96. Tabla resumen sobre el tratamiento del Modelo propio a las Condiciones técnicas relativas a Transmisión y radiación en huecos. Elaboración propia.....	94
Tabla 97. Tabla resumen sobre el tratamiento del Modelo propio a las Condiciones técnicas relativas a Renovación de aire. Elaboración propia.....	94
Tabla 98 (cont. Tabla 97). Tabla resumen sobre el tratamiento del Modelo propio a las Condiciones técnicas relativas a Renovación de aire. Elaboración propia.....	94
Tabla 99. Resultados arrojados en el informe *.html de EnergyPlus del Modelo propio para la vivienda unifamiliar.....	95
Tabla 100. Resultados arrojados en el informe *.html de EnergyPlus del Modelo propio para la vivienda unifamiliar con los ficheros climáticos erróneos.....	95
Tabla 101. Resultados arrojados en el informe *.html de EnergyPlus del Modelo propio para las viviendas en bloque.....	95
Tabla 102. Comparativa entre los programas considerados para las Solicitaciones exteriores. Elaboración propia.....	96
Tabla 103. Comparativa entre los programas considerados para las Solicitaciones interiores y condiciones operacionales. Elaboración propia.....	96
Tabla 104. Comparativa entre los programas considerados para las Condiciones de contorno en las superficies interiores y exteriores. Elaboración propia.....	97
Tabla 105 (cont. Tabla 104). Comparativa entre los programas considerados para las Condiciones de contorno en las superficies interiores y exteriores. Elaboración propia.....	98
Tabla 106 (cont. Tabla 104). Comparativa entre los programas considerados para las Condiciones de contorno en las superficies interiores y exteriores. Elaboración propia.....	98
Tabla 107. Comparativa entre los programas considerados para la Transmisión y radiación en cerramientos opacos y el terreno. Elaboración propia.....	99
Tabla 108. Comparativa entre los programas considerados para la Transmisión y radiación en huecos. Elaboración propia.....	99
Tabla 109. Comparativa entre los programas considerados para la Renovación de aire. Elaboración propia.....	100

Tabla 110 (cont. Tabla 109). Comparativa entre los programas considerados para la Renovación de aire. Elaboración propia.	100
Tabla 111. Comparativa de resultados de demanda de programas analizados. Elaboración propia.	101
Tabla 112. Errores relativos comparando con HULC de los programas analizados. Elaboración propia.	102
Tabla 113. Errores relativos comparando con CYPETHERM HE PLUS de los programas analizados. Elaboración propia.	103
Tabla 114. Errores relativos comparando con el Modelo propio de los programas analizados. Elaboración propia.	104
Tabla 115. Errores relativos comparando con el Modelo propio-RV de los programas analizados. Elaboración propia.	104
Tabla 116. Resultados de consumo energía para el sistema de la vivienda unifamiliar. HULC.	106
Tabla 117. Resultados de consumo energía para el sistema de la vivienda unifamiliar. CE3...	107
Tabla 118. Resultados de consumo energía para el sistema de la vivienda unifamiliar. CE3X.	109
Tabla 119. Resultados de consumo energía para el sistema de la vivienda unifamiliar. CERMA.	110
Tabla 120. Resultados de consumo energía para el sistema de la vivienda unifamiliar. SG-SAVE.	111
Tabla 121. Resultados de consumo energía para el sistema de la vivienda unifamiliar. CYPETHERM HE PLUS.	113

ANEXOS

Tabla 122. Tabla sobre cerramientos opacos para la generación del edificio de referencia.....	2
Tabla 123. Tabla sobre cerramientos interiores para la generación del edificio de referencia. ..	2
Tabla 124. Tabla sobre puentes térmicos para la generación del edificio de referencia.	2
Tabla 125. Tabla sobre huecos para la generación del edificio de referencia.	3
Tabla 126 (cont. Tabla 125). Tabla sobre huecos para la generación del edificio de referencia..	4
Tabla 127. Tabla sobre lucernarios para la generación del edificio de referencia.	5
Tabla 128. Tabla sobre puertas para la generación del edificio de referencia.	5
Tabla 129. Tabla sobre cerramientos de espacios no habitables para la generación del edificio de referencia.	5
Tabla 130. Tabla sobre espacios habitables para la generación del edificio de referencia.	6
Tabla 131. Tabla sobre espacios no habitables para la generación del edificio de referencia.	6
Tabla 132. Tabla sobre composición de muros exteriores para la generación del edificio de referencia.	6
Tabla 133. Tabla sobre composición de cubiertas para la generación del edificio de referencia.	7

Tabla 134. Tabla sobre composición de suelos para la generación del edificio de referencia.	7
Tabla 135. Tabla sobre composición de particiones interiores para la generación del edificio de referencia.	8
Tabla 136. Tabla sobre composición de medianeras para la generación del edificio de referencia.	8
Tabla 137. Tabla sobre transmitancia lineal de puentes térmicos geométricos para la generación del edificio de referencia.....	8
Tabla 138. Tabla sobre factor solar de huecos para la generación del edificio de referencia.....	9
Tabla 139. Tabla sobre transmitancias máximas y factor solar de la envolvente del edificio de referencia para la Zona Climática D3.	9
Tabla 140. Tabla sobre condiciones operacionales del edificio de referencia de uso residencial.	10
Tabla 141 (cont. Tabla 140). Tabla sobre condiciones operacionales del edificio de referencia de uso residencial.....	10
Tabla 142. Tabla caudales de ventilación en edificios de uso residencial.	11
Tabla 143. Tabla sobre la demanda de referencia de ACS.....	12
Tabla 144. Tabla sobre la ocupación asociada a la demanda de ACS	12
Tabla 145. Tabla sobre el factor de centralización asociado a la demanda de ACS.....	12
Tabla 146. Primeras 24 h del año para los datos climáticos determinantes de cada fichero utilizado por cada programa reconocido. Elaboración propia.....	14

ÍNDICE DE GRÁFICOS

MEMORIA

Gráfico 1. Comparativa de resultados de demanda de programas analizados para la vivienda unifamiliar. Elaboración propia.....	101
Gráfico 2. Comparativa de resultados de demanda de programas analizados para las viviendas en bloque. Elaboración propia.....	102
Gráfico 3. Capacidad de refrigeración total función de la temperatura de condensación, con $T_{bh}=17^{\circ}\text{C}$. Elaboración propia.....	113
Gráfico 4. Capacidad de refrigeración total función de la temperatura de condensación, con $T_{bh}=20^{\circ}\text{C}$. Elaboración propia.....	114

ANEXOS

Gráfico 5. Temperatura de bulbo seco horaria para cada fichero climático utilizado por HULC y CE3. Elaboración propia.....	14
Gráfico 6. Temperatura de bulbo seco horaria para cada fichero climático utilizado por CERMA. Elaboración propia.....	15
Gráfico 7. Comparativa de temperatura de bulbo seco horaria para cada fichero climático utilizado por HULC, CE3 y CERMA. Elaboración propia.....	15
Gráfico 8. Temperatura de bulbo seco horaria para cada fichero climático utilizado por SG-SAVE y CYPETHERM HE PLUS. Elaboración propia.....	16
Gráfico 9. Comparativa de temperatura de bulbo seco horaria para cada fichero climático utilizado por HULC, y SG-SAVE y CYPETHERM HE PLUS. Elaboración propia.....	16
Gráfico 10. Comparativa de temperatura de bulbo seco horaria para cada fichero climático. Elaboración propia.....	17
Gráfico 11. Comparativa de humedad relativa horaria para cada fichero climático. Elaboración propia.....	17
Gráfico 12. Comparativa de irradiancia solar sobre plano horizontal horaria para cada fichero climático. Elaboración propia.....	18
Gráfico 13. Comparativa de humedad específica horaria para cada fichero climático. Elaboración propia.....	18