



---

**Universidad de Valladolid**

**ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ENERGÉTICA Y FLUIDODINÁMICA**

TESIS DOCTORAL:

**ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA  
EN EDIFICIOS EXISTENTES CON DIFERENTES  
HERRAMIENTAS DE SIMULACIÓN ENERGÉTICA**

Presentada por Antonio Gavilán Casal para optar al  
grado de doctor por la Universidad de Valladolid

Dirigida por:  
Dr. Francisco Javier Rey Martínez  
Dr. Eloy Velasco Gómez



A Olga,  
a mis padres  
a mí mismo



## **AGRADECIMIENTOS**

Esta tesis no hubiera llegado nunca a su fin sin la ayuda y exigencia de muchas personas, de las cuales sólo algunas caben en este apartado.

A mis directores de tesis. Javier, que ha conseguido mostrarme una salida cuando el camino por el que iba no parecía tenerla. Y Eloy, compañero y guía diario en muchas situaciones provocadas por los resultados y redacción de esta tesis.

A Santos Verdasco, amigo y mentor. Su paciencia enseñándome instalaciones hace años y la oportunidad que me brindó de trabajar en certificación energética germinaron en una tesis doctoral.

A mi familia. Siempre ahí, sin cuestionar, sin protestar y sin pedir nada a cambio.

A Olga. Mi motivación para acabar esta tesis, animándome cuando caía, exigiéndome seguir cuando no tenía fuerzas y, siempre, por encima de todo, anteponiendo el final de esta tesis a muchas otras cosas personales... porque así era necesario para acabarla.

Gracias a todos los que me habéis escuchado y soportado estos años...



# ÍNDICE

ÍNDICE.....	iii
ÍNDICE DE TABLAS .....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xiii
RESUMEN .....	xix
SUMMARY .....	xxi
OBJETIVOS Y ALCANCE DE LA TESIS.....	xxiii
CONTENIDO .....	xxv
CAPÍTULO I.- ENERGÍA EN EDIFICIOS Y SU NORMATIVA.....	2
<i>RESUMEN</i> .....	4
<i>ABSTRACT</i> .....	6
<i>I.1. CONSUMO ENERGÉTICO</i> .....	8
I.1.1. El planeta .....	8
I.1.2. La edificación .....	9
I.1.3. Unión Europea (UE) .....	11
<i>I.2. MARCO NORMATIVO Y SU EVOLUCIÓN HISTÓRICA</i> .....	13
I.2.1. Eficiencia energética en edificios: EPBD. Directiva 2002/91/CE.....	15
I.2.2. Real Decreto 314/2006: Aprobación del Código Técnico de la Edificación .....	21
I.2.3. Directiva 2006/32/CE: Eficiencia del uso final de la energía y los Servicios Energéticos .....	23
I.2.4. Real Decreto 47/2007 sobre Certificación Energética .....	24
I.2.5. Real Decreto 1027/2007: Reglamento de Instalaciones Térmicas de Edificios (RITE).....	27
I.2.6. Real Decreto 1826/2009 que modifica el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE) .....	28
I.2.7. Directiva 2010/31/UE de eficiencia energética de los edificios .....	31
I.2.8. Directiva 2012/27/UE relativa a la eficiencia energética de los edificios .....	34
I.2.9. Ley 8/2013 de Rehabilitación, Regeneración y Renovación Urbana .....	35
I.2.10. Real Decreto 235/2013 sobre Certificación Energética de Edificios Existentes .....	36
I.2.11. Real Decreto 238/2013 que modifica el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE) .....	39
I.2.12. Orden FOM/1635/2013 que actualiza el Documento Básico DB-HE «Ahorro de Energía», del Código Técnico de la Edificación (CTE).....	41
I.2.13. Real Decreto Ley 8/2014 de Aprobación de Medidas Urgentes para el Crecimiento, la Competitividad y la Eficiencia .....	43
I.2.14. Conclusiones de normativa y eficiencia energética actual en España .....	44
<i>I.3. ESTADO NORMATIVO Y METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN ENERGÉTICA EN LOS EDIFICIOS EN OTROS PAÍSES</i> .....	44
I.3.1. Normativa y códigos técnicos energéticos de edificación .....	44
I.3.2. Metodología de evaluación energética en edificios .....	49
I.3.3. Certificación energética en Europa .....	52
I.3.4. Certificación energética en Norteamérica.....	64

I.4.	REFERENCIAS.....	67
CAPÍTULO II.- HERRAMIENTAS DE SIMULACIÓN ENERGÉTICA .....		70
	RESUMEN .....	72
	ABSTRACT.....	74
II.1.	SIMULACIÓN ENERGÉTICA DE EDIFICIOS .....	76
II.1.1.	Métodos .....	77
II.1.2.	Situación en España .....	80
II.1.3.	Otros programas .....	83
II.2.	PROGRAMAS Y PROCEDIMIENTOS .....	84
II.2.1.	CALENER VYP .....	84
II.2.2.	CALENER GT.....	88
II.2.3.	Post - CALENER.....	94
II.2.4.	CERMA.....	95
II.2.5.	CE3.....	103
II.2.6.	CE3X .....	110
II.2.7.	TRNSYS .....	120
II.2.8.	EnergyPlus.....	122
II.3.	REFERENCIAS.....	133
CAPÍTULO III.- PROCEDIMIENTO GENERAL UTILIZADO Y EDIFICIOS DE COMPARACIÓN .....		136
	RESUMEN .....	138
	ABSTRACT.....	140
III.1.	PROCEDIMIENTO GENERAL UTILIZADO .....	142
III.2.	INDICADORES ENERGÉTICOS DE ESTUDIO .....	143
III.3.	EDIFICIOS DE COMPARACIÓN .....	143
III.3.1.	Vivienda unifamiliar .....	144
III.3.2.	Edificio de oficinas.....	152
III.3.3.	Edificio universitario.....	158
CAPÍTULO IV.- MÉTODO DE REFERENCIA Y PROCEDIMIENTOS SIMPLIFICADOS .....		170
	RESUMEN .....	172
	ABSTRACT.....	174
IV.1.	METODOLOGÍA DE CÁLCULO DE REFERENCIA .....	176
IV.1.1.	Uso de EnergyPlus con generación de fichero IDF en CYPE .....	176
IV.1.2.	Uso de TRNSYS como método de referencia .....	180
IV.1.3.	Uso de CYPE como interfaz y EnergyPlus como motor de cálculo .....	184
IV.1.4.	Elección de metodología de referencia utilizada .....	187
IV.2.	PROCEDIMIENTOS SIMPLIFICADOS.....	189
IV.2.1.	Simplificaciones realizadas por los procedimientos simplificados .....	190
IV.3.	REFERENCIAS.....	193



CAPÍTULO V.- SISTEMAS, CÁLCULOS Y RESULTADOS .....	194
<i>RESUMEN</i> .....	196
<i>ABSTRACT</i> .....	198
V.1. <i>CONSIDERACIONES GENERALES</i> .....	200
V.2. <i>VIVIENDA UNIFAMILIAR</i> .....	202
V.2.1.    Sistemas de calefacción .....	203
V.2.2.    Sistemas de refrigeración.....	215
V.2.3.    Sistemas de climatización: calefacción y refrigeración .....	226
V.3. <i>OFICINAS</i> .....	239
V.3.1.    Caso 10: Sistema de agua en calefacción y sistema aire-agua en refrigeración. ....	242
V.3.2.    Caso 11: Sistema aire-agua en calefacción y refrigeración. ....	249
V.3.3.    Caso 12: Unidad de aire acondicionado con sistema multisplit .....	252
V.3.4.    Resumen de demandas, consumos y emisiones del edificio unifamiliar .....	255
V.4. <i>EDIFICIO UNIVERSITARIO (CASO 13)</i> .....	256
V.4.1.    Definición de sistema en CYPE .....	256
V.4.2.    Introducción de sistemas en CE3 .....	258
V.4.3.    Resultados .....	260
V.4.4.    Rendimiento medio estacional y factor de conversión.....	260
V.4.5.    Análisis de resultados del caso.....	261
V.5. <i>FICHEROS DE DATOS CLIMATOLÓGICOS</i> .....	262
V.5.1.    Ficheros *.met.....	262
V.5.2.    Ficheros *.epw .....	263
V.5.3.    Resultados obtenidos .....	264
V.6. <i>ANÁLISIS DE RESULTADOS</i> .....	264
V.6.1.    CERMA.....	264
V.6.2.    CE3.....	269
V.7. <i>CYPE CON PERFILES DE USO REAL</i> .....	278
V.8. <i>REFERENCIAS</i> .....	281
CAPÍTULO VI.- CONCLUSIONES.....	282
<i>RESUMEN</i> .....	284
<i>ABSTRACT</i> .....	286
VI.1. <i>INTRODUCCIÓN</i> .....	288
VI.2. <i>EDIFICIOS ESTUDIADOS</i> .....	288
VI.3. <i>MÉTODO DE REFERENCIA</i> .....	289
VI.4. <i>PROCEDIMIENTOS SIMPLIFICADOS</i> .....	290
VI.4.1.    CERMA.....	290
VI.4.2.    CE3.....	291
VI.5. <i>CYPE CON PERFILES DE USO REALES</i> .....	293
VI.6. <i>DESARROLLOS FUTUROS</i> .....	294
VI.7. <i>CONCLUSIONES FINALES</i> .....	296

ANEXO I.- ESTADO NORMATIVO Y METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN ENERGÉTICA EN EDIFICIOS EN ESPAÑA Y OTROS PAÍSES .....	300
<i>RESUMEN</i> .....	302
<i>ABSTRACT</i> .....	304
<i>AI.1. NORMATIVA Y CÓDIGOS TÉCNICOS ENERGÉTICOS DE EDIFICACIÓN</i> .....	306
AI.1.1.    Introducción .....	306
AI.1.2.    Evolución histórica .....	306
AI.1.3.    Códigos desde un enfoque prescriptivo y de rendimiento .....	307
AI.1.4.    Códigos en continua evolución .....	308
AI.1.5.    Clasificación de eficiencia energética global en distintos países del mundo .....	311
<i>AI.2. METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN ENERGÉTICA EN LOS EDIFICIOS</i> .....	313
AI.2.1.    Edificios nuevos.....	314
AI.2.2.    Edificios existentes .....	314
<i>AI.3. FUNDAMENTOS DE LOS MÉTODOS DE EVALUACIÓN</i> .....	316
AI.3.1.    Conceptos fundamentales de un proceso de certificación .....	316
<i>AI.4. REVISIÓN DE MODELOS DE CARACTERIZACIÓN Y EVALUACIÓN ENERGÉTICA EN EL MUNDO</i> .....	324
AI.4.1.    Certificados Energéticos en la Unión Europea .....	324
AI.4.2.    Certificados energéticos en Norteamérica.....	367
AI.4.3.    Certificados Energéticos en Sudamérica .....	386
AI.4.4.    Certificados Energéticos en otros países: China.....	389
<i>AI.5. REFERENCIAS</i> .....	390
ANEXO II.- LISTADO DE EMISORES DEL AULARIO .....	394
<i>RESUMEN</i> .....	396
<i>ABSTRACT</i> .....	398
<i>AII.1. LISTADO DE EMISORES</i> .....	400

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla II.1.- Combinaciones estudiadas en tests de comparación.....	99
Tabla II.2.- Comparación en calificación global de CERMA – CALENER VYP.....	101
Tabla II.3.-Demanda de calefacción de CERMA – CALENER VYP en viviendas unifamiliares. ....	102
Tabla II.4.-Demanda de refrigeración de CERMA – CALENER VYP en viviendas unifamiliares.....	102
Tabla II.5.-Demanda de calefacción de CERMA – CALENER VYP en bloque de viviendas. ....	102
Tabla II.6.-Demanda de refrigeración de CERMA – CALENER VYP en bloque de viviendas. ....	103
Tabla II.7.-Combinaciones estudiadas en ensayos de CE3 - CALENER.....	107
Tabla II.8.- Comparaciones de indicador global en viviendas en ensayos de CE3 - CALENER. ....	109
Tabla II.9.- Comparaciones de indicador global en edificios terciarios en ensayos de CE3 - CALENER....	110
Tabla II.10.-Combinaciones estudiadas en ensayos de CE3X - CALENER. ....	115
Tabla II.11.- Comparaciones de indicador global en viviendas en ensayos de CE3X - CALENER. ....	117
Tabla II.12.- Comparaciones de indicador global en pequeños y medianos terciarios en CE3X - CALENER. .....	118
Tabla II.13.- Comparaciones de indicador global en grandes terciarios de CE3X - CALENER. ....	118
Tabla II.14.- Comparaciones de indicador global en unifamiliares CE3 – CE3X.....	119
Tabla II.15.- Comparaciones de indicador global en viviendas en bloque CE3 – CE3X.....	119
Tabla II.16.- Comparaciones de indicador global en pequeños y medianos terciarios CE3 – CE3X. ....	119
Tabla II.17.- Comparaciones de indicador global en gran terciario CE3 – CE3X. ....	119
Tabla II.18.- Comparaciones tipos de edificios que se pueden estudiar en CYPECAD MEP. ....	128
Tabla III.1.-Superficies en proyecto de vivienda unifamiliar estudiada.....	145
Tabla III.2.-Superficies de espacios en vivienda unifamiliar estudiada. ....	146
Tabla III.3.- Características térmicas de la puerta de entrada del unifamiliar.....	149
Tabla III.4.- Características térmicas de ventanas reflectantes del unifamiliar. ....	149
Tabla III.5.- Características térmicas de ventanas no reflectantes del unifamiliar. ....	149
Tabla III.6.- Distribución en superficie y planta del edificio de oficinas. ....	154
Tabla III.7.- Alturas de plantas del edificio de oficinas. ....	155

Tabla III.8.- Características térmicas de puertas existentes en edificio de oficinas. ....	157
Tabla III.9.- Características térmicas de ventanas existentes en edificio de oficinas. ....	157
Tabla III.10.-Áreas ocupadas por cada planta del Aulario. ....	159
Tabla III.11.-Alturas y cotas de cada planta del Aulario. ....	159
Tabla III.12.-Superficies del semisótano del Aulario.....	159
Tabla III.13.-Superficies de la planta baja del Aulario. ....	160
Tabla III.14.-Superficies de la planta primera del Aulario. ....	161
Tabla III.15.- Características térmicas de puertas exteriores existentes en el Aulario.....	164
Tabla III.16.- Características térmicas de ventanas existentes en el Aulario.....	164
Tabla III.17.- Características térmicas de rejillas existentes en el Aulario.....	165
Tabla III.18.- Inventarios de radiadores existentes en la planta baja del Aulario.....	166
Tabla III.19.- Inventarios de radiadores existentes en la planta primera del Aulario.....	167
Tabla III.20.- Bombas de calor existentes en el Aulario.....	168
Tabla III.21.- Valores de iluminación según norma EN 12464-1:2002 en uso educativo. ....	168
Tabla IV.1.- Energías totales de generación y del sitio dadas por EnergyPlus en el unifamiliar con radiadores. ....	178
Tabla IV.2.- Consumos finales dados por EnergyPlus en el unifamiliar con radiadores. ....	178
Tabla IV.3.- Resultados obtenidos con TRNSYS. ....	183
Tabla IV.4.- Resultados de simulación dinámica simplificada de unifamiliar. ....	185
Tabla IV.5.- Resultados de simulación dinámica completa de unifamiliar. ....	185
Tabla IV.6.- Resultados de simulación dinámica completa de unifamiliar en pestaña estudio térmico. .	186
Tabla V.1.- Casos estudiados. ....	200
Tabla V.2.- Listado de emisores del caso 1 en unifamiliar.....	203
Tabla V.3.- Subdivisión del caso 1 según la introducción del sistema en CE3. ....	204
Tabla V.4.- Indicadores obtenidos en el caso 1 <sup>2</sup> .....	206
Tabla V.5.- Rendimiento medio estacional y factor de conversión obtenidos en el caso 1 <sup>3</sup> .....	206
Tabla V.6.- Potencias instaladas ( $P_{inst}$ calefacción) y requeridas ( $P_{req}$ calefacción) calculadas.....	208

Tabla V.7.- Subdivisión del caso 2 según la introducción del sistema en CERMA. ....	209
Tabla V.8.- Indicadores obtenidos en el caso 2. ....	211
Tabla V.9.- Rendimiento medio estacional y factor de conversión obtenidos en el caso 2. ....	211
Tabla V.10.- Indicadores obtenidos en el caso 3. ....	214
Tabla V.11.- Rendimiento medio estacional y factor de conversión obtenidos en el caso 3. ....	214
Tabla V.12.- Indicadores obtenidos en el caso 4. ....	218
Tabla V.13.- Rendimiento medio estacional y factor de conversión obtenidos en el caso 4. ....	218
Tabla V.14.- Indicadores obtenidos en el caso 5. ....	221
Tabla V.15.- Rendimiento medio estacional y factor de conversión obtenidos en el caso 5. ....	221
Tabla V.16.- Potencias instaladas ( $P_{inst}$ refrigeración) y requeridas ( $P_{req}$ refrigeración) calculadas. ....	223
Tabla V.17.- Indicadores obtenidos en el caso 6. ....	225
Tabla V.18.- Rendimiento medio estacional y factor de conversión obtenidos en el caso 6. ....	225
Tabla V.19.- Listado de emisores del caso 7. ....	227
Tabla V.20.- Cálculo del rendimiento medio estacional del método de referencia en el caso 7. ....	228
Tabla V.21.- Indicadores obtenidos en el caso 7. ....	230
Tabla V.22.- Rendimiento medio estacional y factor de conversión obtenidos en el caso 7. ....	230
Tabla V.23.- Potencias instaladas ( $P_{inst}$ ) y requeridas ( $P_{req}$ ) calculadas. ....	232
Tabla V.24.- Indicadores obtenidos en el caso 8. ....	234
Tabla V.25.- Rendimiento medio estacional y factor de conversión obtenidos en el caso 8. ....	234
Tabla V.26.- Indicadores obtenidos en el caso 9. ....	237
Tabla V.27.- Rendimiento medio estacional y factor de conversión obtenidos en el caso 9. ....	237
Tabla V.28.- Tabla resumen de indicadores obtenidos en el edificio unifamiliar estudiado. ....	239
Tabla V.29.- Listado de emisores del caso 10 en oficinas. ....	242
Tabla V.30.- Indicadores obtenidos en el caso 10. ....	244
Tabla V.31.- Rendimiento medio estacional y factor de conversión obtenidos en el caso 10. ....	244
Tabla V.32.- Comparación de demandas obtenidas corrigiendo transmitancias en el caso 10 en CE3. ...	248
Tabla V.33.- Indicadores obtenidos en el caso 11. ....	251

Tabla V.34.- Rendimiento medio estacional y factor de conversión obtenidos en el caso 11. ....	251
Tabla V.35.- Indicadores obtenidos en el caso 12. ....	254
Tabla V.36.- Rendimiento medio estacional y factor de conversión obtenidos en el caso 12. ....	254
Tabla V.37.- Indicadores energéticos obtenidos en el edificio de oficinas.....	256
Tabla V.38.- Indicadores obtenidos en el caso 13. ....	260
Tabla V.39.- Rendimiento medio estacional y factor de conversión obtenidos en el caso 13. ....	260
Tabla V.40.- Comparación de resultados obtenidos con fichero *.epw original y modificado. ....	264
Tabla V.41.- Nomenclatura de casos estudiados con CERMA de la tesis. ....	265
Tabla V.42.- Comparación de valores de demanda (kWh/m <sup>2</sup> ) en unifamiliar de EnergyPlus frente a CERMA. ....	265
Tabla V.43.- Comparación de valores de emisiones (kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> ) en unifamiliar de EnergyPlus y CERMA. ....	267
Tabla V.44.- Factor de conversión (kg CO <sub>2</sub> /kWh) y rendimiento medio estacional en EnergyPlus y CERMA. ....	268
Tabla V.45.- Nomenclatura de casos estudiados en resultados de CE3 de la tesis. ....	269
Tabla V.46.- Comparación de valores de demanda (kWh/m <sup>2</sup> ) de EnergyPlus frente a CE3. ....	270
Tabla V.47.- Comparación de valores de consumo (kWh/m <sup>2</sup> ) de EnergyPlus frente a CE3. ....	272
Tabla V.48.- Comparación de valores de rendimiento medio estacional tabulados con los obtenidos en CE3.....	274
Tabla V.49.- Comparación de valores de emisiones (kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> ) en unifamiliar de EnergyPlus frente a CE3.....	275
Tabla V.50.- Comparación de factor de conversión (kg CO <sub>2</sub> /kWh E. final) en resultados. ....	277
Tabla V.51.- Comparación de factor de conversión (kg CO <sub>2</sub> /kWh E. final) en EnergyPlus y CERMA. ....	277
Tabla V.52.- Nomenclatura de casos estudiados en comparación de CYPE con distintos perfiles de uso. ....	278
Tabla V.53.- Comparación de valores de demanda (kWh/m <sup>2</sup> ) de EnergyPlus con distintos perfiles de uso. ....	279
Tabla AI.1.- Requisitos mínimos de expertos cualificados y/o acreditados (persona física) en Europa...332	
Tabla AI.2. – Sistemas de control de calidad de EPC en Europa.....	338
Tabla AI.3.- Control de calidad de EPCs en 2013 en toda Europa. ....	339

Tabla AI.4.-Sistema de sanciones por puntos en Irlanda (CA EPBD, 2013). .....	345
Tabla AI.5.-Ejemplo de datos recolectados en las bases de datos de EPCs en Europa. ....	349
Tabla AI.6.- Tabla de evaluación LEED.....	371
Tabla AII.1.- Emisores diseñados en planta baja del aulario. ....	400
Tabla AII.2.- Emisores diseñados en planta primera del aulario. ....	402





## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura I.1.-Demanda de energía final. Fuente: AIE .....	8
Figura I.2.- Coste promedio de energía pagada por consumidores. Fuente: AIE .....	9
Figura I.3.- Evolución del consumo de energía final por sectores. Fuente: IDAE .....	9
Figura I.4.- Tendencias del consumo energético (ktep) del sector residencial en España. Fuente: IDAE ..	10
Figura I.5.- Planes relacionadas con la eficiencia energética en España y sus referentes.....	14
Figura I.6.- Metodología definida en la Directiva 2002/91/CE. ....	20
Figura I.7.- Real Decreto 47/2007: Metodología de cálculo de la calificación energética. ....	25
Figura I.8.- Esquema procedimientos cálculo de la calificación en España. ....	25
Figura I.9.- Porcentaje de ahorro sobre consumo energético en climatización con RITE 2009. ....	30
Figura I.10.- Principales hitos de la Directiva 2012/27/UE. ....	35
Figura I.11.- Esquema de antecedentes normativos de RD 235/2013. ....	36
Figura I.12.- Progreso en la implementación de códigos energéticos en la construcción en países de la IEA, BRICS y Túnez. ....	45
Figura I.13.- Uso mundial de códigos energéticos de edificación en nuevos edificios residenciales. ....	46
Figura I.14.- Uso mundial de códigos energéticos de edificación en edificios existentes residenciales. ...	46
Figura I.15.- Uso mundial de códigos energéticos de edificación en edificios nuevos no residenciales. ...	46
Figura I.16.- Uso mundial de códigos energéticos de edificación en edificios existentes no residenciales. ....	47
Figura I.17.-Clasificación energética en el mundo.....	47
Figura I.18. - Transposición formal de los requisitos de la EPBD (2010/31/UE) en Europa.....	52
Figura I.19. - Requerimientos para expertos cualificados y/o acreditados (personas físicas) en Europa. .	53
Figura I.20. – Registros de EPCs en Europa. ....	54
Figura I.21. - Primeras páginas de un certificado de eficiencia energética en Alemania. ....	56
Figura I.22. - Certificado para viviendas en Austria (Energieausweis für Wohngebäude). ....	57
Figura I.23. – Certificado energético para viviendas en Francia.....	58
Figura I.24. - Primera página del Certificado de eficiencia energética (EPC) en Reino Unido. ....	59
Figura I.25. - Building Energy Rating (BER) Certificado vigente en Irlanda.....	61

Figura I.26. - Consumo específico de energía en edificios por m <sup>2</sup> . Fuente: Odyssee. ....	61
Figura I.27. - Primera página del certificado energético vigente en Hungría. ....	62
Figura I.28. – Imagen de programa de calificación energética vigente en España. ....	64
Figura II.1.-Esquema de casos usuales de necesidad de simulación energética .....	77
Figura II.2.- Definición de la geometría en herramientas de simulación energética. ....	79
Figura II.3.- Imagen del espacio 3D de definición geométrica en CALENER VYP. ....	85
Figura II.4.- Imagen del espacio 3D de CALENER GT. ....	89
Figura II.5.- Imagen de programa Post CALENER. ....	94
Figura II.6.- Imagen de programa CERMA. ....	96
Figura II.7.- Imagen de programa CE3. ....	103
Figura II.8.- Fases del procedimiento simplificado CE3. ....	104
Figura II.9.- Imagen de programa CE3X. ....	110
Figura II.10.- Estructura de funcionamiento de CE3X. ....	111
Figura II.11.- Imagen del programa TRNSYS. ....	121
Figura II.12.- Imagen del programa EnergyPlus. ....	123
Figura II.13.- Datos de exportación de fichero IDF en EnergyPlus. ....	130
Figura III.1.- Esquema general del procedimiento seguido en los cálculos. ....	142
Figura III.2.-Vivienda unifamiliar estudiada en las simulaciones energéticas. ....	144
Figura III.3.-Imagen de plano de vivienda unifamiliar estudiada. ....	145
Figura III.4.- Imagen de CYPE de edificio de oficinas estudiado. ....	153
Figura III.5.- Distribución de planta baja de edificio de oficinas. ....	153
Figura III.6.- Distribución de planta primera de edificio de oficinas. ....	154
Figura III.7.- Imagen real de Aulario Universitario de Valladolid. ....	158
Figura III.8.- Planta semisótano del edificio Aulario. ....	160
Figura III.9.- Planta baja del edificio Aulario. ....	160
Figura III.10.- Planta primera del edificio Aulario. ....	161
Figura III.11.- Esquema de circuito de calefacción del edificio Aulario. ....	166

Figura IV.1.- Edificio generado en CYPE para estudio en EnergyPlus, correspondiente al unifamiliar. ...	177
Figura IV.2.- Instalación de calefacción diseñada en el caso de estudio del unifamiliar de la tesis. ....	177
Figura IV.3.- Edificio generado en Sketch Up para estudio en TRNSYS, correspondiente al unifamiliar. .	181
Figura IV.4.- Proyecto creado en TRNSYS, correspondiente al unifamiliar de la tesis.....	181
Figura IV.5.- Edición de características constructivas en TRNBuild. ....	182
Figura V.1.- Diagrama P-h del ciclo simple por compresión de vapor. ....	202
Figura V.2.- Introducción de sistema del caso 1 en CERMA. ....	204
Figura V.3.- Introducción de sistema del caso 1A en CE3.....	205
Figura V.4.- Introducción de sistema del caso 1B en CE3. ....	205
Figura V.5.- Introducción de sistema del caso 2 en CE3. ....	209
Figura V.6.- Introducción de sistema del caso 2A en CERMA. ....	210
Figura V.7.- Introducción de sistema del caso 2B en CERMA. ....	210
Figura V.8.- Introducción de sistema del caso 3 en CERMA. ....	213
Figura V.9.- Introducción de sistema del caso 3 en CE3. ....	214
Figura V.10.- Introducción de sistema del caso 4 en CERMA. ....	217
Figura V.11.- Introducción de sistema del caso 4 en CE3. ....	217
Figura V.12.- Introducción de sistema del caso 5 en CERMA. ....	220
Figura V.13.- Introducción de sistema del caso 5 en CE3. ....	221
Figura V.14.- Introducción de sistema del caso 6 en CERMA. ....	224
Figura V.15.- Introducción de sistema del caso 6 en CE3. ....	224
Figura V.16.- Introducción de sistema del caso 7 en CERMA. ....	229
Figura V.17.- Introducción de sistema del caso 7 en CE3. ....	229
Figura V.18.- Introducción de sistema del caso 8 en CERMA. ....	232
Figura V.19.- Introducción de sistema del caso 8 en CE3. ....	233
Figura V.20.- Introducción de sistema del caso 9 en CERMA. ....	236
Figura V.21.- Introducción de sistema del caso 9 en CE3. ....	237
Figura V.22.- Introducción del sistema de iluminación de los casos 10,11 y 12 en CE3.....	240

Figura V.23.- Importación del edificio del caso 10 a CE3.....	241
Figura V.24.- Introducción del sistema de calefacción del caso 10 en CE3. ....	243
Figura V.25.- Introducción del sistema de refrigeración del caso 10 en CE3. ....	244
Figura V.26.- Transmitancia del suelo en fichero exportado a CALENER VYP en el caso 10. ....	246
Figura V.27.- Resultados obtenidos en CALENER VYP con fichero exportado desde CYPE en el caso 10.	246
Figura V.28.- Características de la envolvente obtenida en oficinas en CE3 con exportación sin modificación. ....	247
Figura V.29.- Características de la envolvente obtenida en oficinas en CE3 con valores modificados. ...	247
Figura V.30.- Introducción del sistema de calefacción del caso 11 en CE3. ....	250
Figura V.31.- Introducción del sistema de refrigeración del caso 11 en CE3. ....	250
Figura V.32.- Ejemplo de introducción del sistema multisplit de calefacción del caso 12 en CE3. ....	253
Figura V.33.- Ejemplo de introducción del sistema multisplit de refrigeración del caso 12 en CE3. ....	254
Figura V.34.- Imagen de edificio Aulario en CYPE. ....	256
Figura V.35.- Descripción conceptual de demanda de calefacción compensada en el aulario. ....	257
Figura V.36.- Introducción de condiciones operacionales del caso 13 en CE3.....	259
Figura V.37.- Introducción de sistemas del caso 13 en CE3. ....	260
Figura VI.1.- Diagrama de bloques de metodología de cálculo en los procedimientos usados en la tesis. ....	294
Figura VI.2.- Cálculo de demanda compensada en el edificio. ....	295
Figura AI.1.- Códigos energéticos en la construcción en países de la IEA, BRICS y Túnez.....	307
Figura AI.2.- Aplicación de códigos energéticos en nuevos edificios residenciales en el mundo. ....	309
Figura AI.3.- Aplicación de códigos energéticos en edificios existentes residenciales en el mundo.....	309
Figura AI.4.- Aplicación de códigos energéticos en edificios nuevos no residenciales en el mundo. ....	310
Figura AI.5.- Aplicación de códigos energéticos en edificios existentes no residenciales en el mundo...310	
Figura AI.6.-Clasificación energética en el mundo. ....	311
Figura AI.8.- Registro de expertos cualificados y/o acreditados en Europa. ....	331
Figura AI.9.- Información general de las metodologías utilizadas en los países europeos para la evaluación de la eficiencia energética de los edificios. ....	334

Figura Al.10.-Tipos de software usados en Europa para el cálculo de la eficiencia energética. ....	335
Figura Al.11.- Información sobre requisitos de visita o inspección in situ para emitir un EPC para edificios de viviendas existentes.....	336
Figura Al.12.- Esquemas de control de calidad existentes y previstos. ....	337
Figura Al.13.- Organismos responsables de la realización de controles de calidad de certificados de eficiencia energética.....	343
Figura Al.14.- Penalizaciones a expertos y/o empresas cualificadas por baja calidad de EPCs emitidos. ....	344
Figura Al.15.- Penalización máxima a expertos y/o empresas por baja calidad de EPCs emitidos. ....	346
Figura Al.16.-Registro de EPCs en Europa. ....	347
Figura Al.17.-Carga de datos de EPCs en Europa.....	350
Figura Al.18.-Estados miembros con datos recolectados en las bases de datos de EPCs en Europa.....	351
Figura Al.19.-Acceso público a las base de datos de EPCs en Europa. ....	352
Figura Al.20.-Implementación de las exigencias de publicidad en la Europa de los 28. ....	353
Figura Al.21. - Primeras páginas de un certificado de eficiencia energética en Alemania. ....	354
Figura Al.22. - Certificado para viviendas en Austria (Energieausweis für Wohngebäude). ....	356
Figura Al.23. – Certificado energético para viviendas en Francia. ....	356
Figura Al.24. - Primera página del Certificado de eficiencia energética (EPC) en Reino Unido.....	358
Figura Al.25. - Building Energy Rating (BER) Certificado vigente en Irlanda. ....	359
Figura Al.26. - Consumo específico de energía en edificios por m <sup>2</sup> . Fuente: Odyssee.....	360
Figura Al.27. - Primera página del certificado energético vigente en Hungría.....	361
Figura Al.28. – Imagen de programa de calificación energética vigente en España. ....	363
Figura Al.29. - Transposición formal de los requisitos de la EPBD en la Europa de los 28 países. ....	364
Figura Al.31. – Registros de EPCs en la Europa de los 28. ....	366



## RESUMEN

El Departamento de Ingeniería Energética y Fluidomecánica de la Escuela de Ingenierías Industriales de la Universidad de Valladolid, desarrolla actualmente una línea de investigación sobre análisis energético en edificios, encaminada a la reducción del consumo energético y mejorar el medio ambiente.

Dentro de este marco, se han desarrollado dos orientaciones. Una de ellas, más experimental, dando lugar a sistemas de recuperación de energía, uso de energías renovables, sistemas de enfriamiento evaporativo, análisis de calidad de ambiente interior, auditorías energéticas y ambientales, etc. Otra, más teórica, encaminada a un análisis energético de los edificios en cuanto a certificación, calificación o herramientas informáticas utilizadas.

En este segundo marco se ubica esta tesis, que da continuidad a los trabajos desarrollados por el Departamento.

Se ha llevado a cabo una investigación teórica, cuyo objetivo es la comparación de la eficiencia energética obtenida por diversas herramientas de simulación energética en edificios existentes, y que comprende los siguientes aspectos:

- Estudio y análisis de la situación legal y normativa en cuanto a eficiencia energética en España y otros países.
- Análisis de las herramientas de simulación existentes en la actualidad.
- Elección de distintos edificios representativos por su tipología, con los cuales se va a realizar la comparación de las distintas herramientas de simulación.
- Elección de un método de referencia contrastado con el que comparar los resultados obtenidos en nuestros procedimientos a evaluar.
- Elección de los procedimientos a evaluar.
- Simulación de los edificios en los distintos métodos y procedimientos.
- Obtención de resultados y comparación de los mismos.





## SUMMARY

The Department of energy engineering and fluid mechanics of the School of Industrial Engineering of the University of Valladolid, is currently developing a line of research on building energy analysis, aimed at the reduction of energy consumption and improve the environment.

Within this framework, two guidelines have been developed. One of them, more experimental, giving rise to systems of energy recovery, use of renewable energies, evaporative cooling systems, analysis of quality of indoor environment, energy and environmental audits, etc. Other, more theoretical, aimed at an energy analysis of buildings in terms of certification, qualification, or used tools.

This thesis, which gives continuity to the work carried out by the Department, is located in the second frame.

A theoretical research has been carried out, whose objective is the comparison of energy efficiency obtained various existing buildings energy simulation tools, and comprising the following aspects:

- Study and analysis of the legal and regulatory situation as regards energy efficiency in Spain and other countries.
- Analysis of existing simulation tools at present time.
- Choice of different representative buildings by typology, which is going to make the comparison of different simulation tools.
- Choice of a proven reference method to compare the results obtained in our procedures to evaluate.
- Choice of procedures to evaluate.
- Simulation of buildings with different methods and procedures chosen.
- Results and comparison thereof.



## OBJETIVOS Y ALCANCE DE LA TESIS

Tras una breve introducción acerca de la eficiencia energética en edificios, tanto a nivel de situación real como de regulación y normativa, esta tesis se centrará en edificios existentes.

En España, existe la posibilidad, de usar distintos programas y métodos, generales y simplificados para el cálculo del consumo y de las emisiones de CO<sub>2</sub> teóricas y, por tanto, de su certificación energética.

Se plantea en esta tesis la valoración de la exactitud de los consumos y emisiones de CO<sub>2</sub> obtenidos con estos métodos respecto de un método que esté contrastado y reconocido en simulaciones energéticas. De esta forma, podremos obtener conclusiones acerca de la similitud en los resultados de dichos métodos.

A su vez, se escogerán distintas tipologías de edificios y distintos sistemas de calefacción y refrigeración, para realizar el estudio de la forma más amplia posible de la variación del resultado, error y exactitud, respecto del método contrastado anteriormente mencionado.

Se plantea, previamente, la elección del método contrastado y de referencia con el que comparar los resultados, optando entre diversas posibilidades (Energy Plus, Energy Plus con datos de rendimiento medio estacional conocido, TRNSYS,...), obteniendo diversas conclusiones acerca de la metodología óptima a usar como referencia.

Por último, y dada la complejidad del último tipo de edificio existente elegido para la tesis, el Aulario de la Escuela de Ingenierías de la Universidad de Valladolid, se ha optado por la comparación mediante las herramientas de simulación energética usadas en el resto de edificios (en el caso de terciarios, CE3 y EnergyPlus). Pero, siendo posible su cálculo como pequeño y mediano terciario, se obtendrán los resultados usando la opción de gran terciario, para poder así probar el motor de cálculo de dicha tipología en CE3.

Además se analizarán diferentes indicadores energéticos, destacando aquellos que permitan obtener una mayor información respecto a la eficiencia energética de esta tipología de edificios.

Los resultados de la investigación serán aplicables a edificios del sector terciario y del sector residencial.



## CONTENIDO

La tesis se divide en seis capítulos. En el primero de ellos se ha realizado una introducción a la situación energética de edificios actual y al desarrollo de la normativa de edificios y su eficiencia energética en la Unión Europea, traspuesta posteriormente a la normativa española. A su vez, se hace un resumen, de mayor profundidad en el Anexo 1, de la situación de la certificación energética en distintos países a nivel internacional.

En el capítulo segundo se presentan las herramientas metodológicas para la obtención de la calificación energética a través de los programas actualmente autorizados en España para la certificación energética de edificios, de forma general y simplificada, así como de diversas herramientas contrastadas internacionalmente, propuestas para el uso como método de referencia.

Por su parte, en el capítulo tercero se describe el procedimiento general de cálculo usado en esta tesis, así como los edificios que vamos a utilizar en las simulaciones a realizar. Esta última descripción se hará tanto en cuanto a cerramientos, como a sistemas presentes y sistemas a utilizar.

En el capítulo cuarto se introduce el primer edificio en CYPE y Sketchup, para su posterior exportación a EnergyPlus y TRNSYS, y se procede a la elección de la metodología óptima de referencia. Se estudiarán la metodología empleada, pasos a realizar y características del programa. Posteriormente se describen los rendimientos medios estacionales que se usan y se eligen los procedimientos simplificados que compararemos.

En el capítulo quinto, se lleva a cabo las distintas simulaciones tanto en el método de referencia como en los procedimientos simplificados (Cerma y CE3). Se obtienen los indicadores energéticos de los edificios simulados y se estudian y comparan los resultados obtenidos.

Para finalizar, en el capítulo sexto se detallan las conclusiones del trabajo de investigación y futuros desarrollos.

A su vez, se introduce un anexo I, dónde se lleva a cabo una revisión y análisis detallado de los sistemas de evaluación energética en los edificios nuevos y existentes implantados actualmente en distintos países, tanto de la Unión Europea como fuera de ésta a nivel internacional. El objetivo fundamental de este anexo es el de analizar la diversidad

existente en los procesos de certificación existentes, así como determinar las ventajas e inconvenientes de cada sistema para su posible aplicabilidad en España.

Habrá un segundo anexo, en el que se da el listado de emisores del edificio universitario estudiado, no incluido en el capítulo quinto dada la extensión de la tabla.

# CAPÍTULOS

CAPÍTULO I.- ENERGÍA EN EDIFICIOS Y SU NORMATIVA.....	2
CAPÍTULO II.- HERRAMIENTAS DE SIMULACIÓN ENERGÉTICA .....	70
CAPÍTULO III.- PROCEDIMIENTO GENERAL UTILIZADO Y EDIFICIOS DE COMPARACIÓN .....	136
CAPÍTULO IV.- MÉTODO DE REFERENCIA Y PROCEDIMIENTOS SIMPLIFICADOS .....	170
CAPÍTULO V.- SISTEMAS, CÁLCULOS Y RESULTADOS .....	194
CAPÍTULO VI.- CONCLUSIONES.....	282





# CAPÍTULO I.- ENERGÍA EN EDIFICIOS Y SU NORMATIVA

RESUMEN .....	4
ABSTRACT.....	5
I.1. CONSUMO ENERGÉTICO .....	8
I.1.1. El planeta .....	8
I.1.2. La edificación .....	9
I.1.3. Unión Europea (UE) .....	11
I.2. MARCO NORMATIVO Y SU EVOLUCIÓN HISTÓRICA.....	13
I.2.1. Eficiencia energética en edificios: EPBD. Directiva 2002/91/CE.....	15
I.2.2. Real Decreto 314/2006: Aprobación del Código Técnico de la Edificación .....	21
I.2.3. Directiva 2006/32/CE: Eficiencia del uso final de la energía y los Servicios Energéticos .....	23
I.2.4. Real Decreto 47/2007 sobre Certificación Energética .....	24
I.2.5. Real Decreto 1027/2007: Reglamento de Instalaciones Térmicas de Edificios (RITE).....	27
I.2.6. Real Decreto 1826/2009 que modifica el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE) .....	28
I.2.7. Directiva 2010/31/UE de eficiencia energética de los edificios .....	31
I.2.8. Directiva 2012/27/UE relativa a la eficiencia energética de los edificios .....	34
I.2.9. Ley 8/2013 de Rehabilitación, Regeneración y Renovación Urbana .....	35
I.2.10. Real Decreto 235/2013 sobre Certificación Energética de Edificios Existentes .....	36
I.2.11. Real Decreto 238/2013 que modifica el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE) .....	39
I.2.12. Orden FOM/1635/2013 que actualiza el Documento Básico DB-HE «Ahorro de Energía», del Código Técnico de la Edificación (CTE).....	41
I.2.13. Real Decreto Ley 8/2014 de Aprobación de Medidas Urgentes para el Crecimiento, la Competitividad y la Eficiencia .....	43
I.2.14. Conclusiones de normativa y eficiencia energética actual en España .....	44
I.3. ESTADO NORMATIVO Y METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN ENERGÉTICA EN LOS EDIFICIOS EN OTROS PAÍSES.....	44
I.3.1. Normativa y códigos técnicos energéticos de edificación .....	44
I.3.2. Metodología de evaluación energética en edificios .....	49
I.3.3. Certificación energética en Europa .....	52
I.3.4. Certificación energética en Norteamérica.....	64
I.4. REFERENCIAS.....	67



## **RESUMEN**

En el capítulo I se analiza y describe de forma general la situación energética actual y su normativa a nivel nacional e internacional, en cuanto a consumos y eficiencia.

Este análisis se ha realizado por zonas, con una mayor profundidad en el estudio de las directivas elaboradas por la Unión Europea y traspuesta a la normativa española. Se ha intercalado de forma cronológica la normativa europea y nacional en virtud de su fecha de publicación y de entrada en vigor.

A su vez, se hace un resumen, de posterior análisis en mayor profundidad en el Anexo I, de la situación de la certificación energética en distintos países a nivel internacional.



**ABSTRACT**

In chapter I, the current energy situation and its regulations at national and international level are analysed and described generally, in terms of consumption and efficiency.

This analysis was performed by area, with a greater depth in the study of the directives issues by the European Union and transposed into the Spanish legislation. European and national legislation under date of publication and entry into force have been interposed chronologically.

At the same time, a summary of the situation of the energy certification in various countries worldwide is made, with a further analysis in greater depth in annex I.



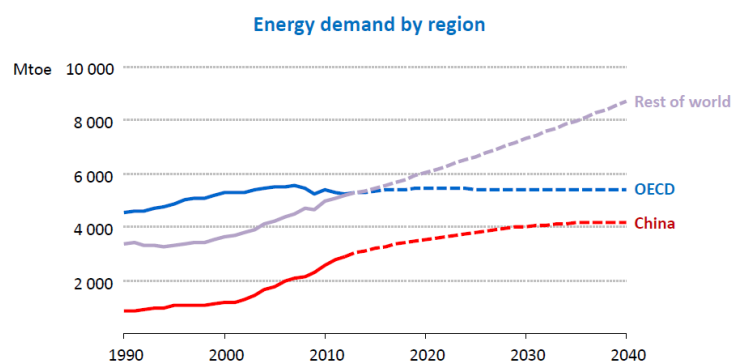
## I.1. CONSUMO ENERGÉTICO

### I.1.1.El planeta

El aumento del consumo de energía en el planeta ha dado lugar a dificultades en el abastecimiento y un agotamiento de los recursos energéticos. La Agencia Internacional de la Energía ofrece datos [1] sobre la evolución del consumo entre 1973 y 2012. En estas cuatro décadas la energía primaria y las emisiones de CO<sub>2</sub> han crecido un 92,2 y un 103 % respectivamente, a un ritmo medio anual de 2,3 y 2,6 % respectivamente.

En el escenario esperado con la aplicación de nuevas políticas, la demanda de energía crecerá en un 37% en 2040, con una tasa promedio de crecimiento del 1,1%. La demanda creció más rápido durante las décadas anteriores; la desaceleración del crecimiento de la demanda es debida principalmente al aumento de la eficiencia de la energía y los cambios estructurales en la economía mundial, esto es, la crisis actual económica y tendencias a favor de actividades menos intensivas en energía. El uso de gas natural y combustibles con bajo contenido de carbono aumentan cada vez más, reemplazando al carbón y el petróleo en el mix energético.

Los pronósticos indican que esta tendencia alcista continuará. Sin embargo, hay un cambio en cuanto a que los países de Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) no serán los mayores demandantes de energía. En este sentido será China quien domine la demanda de energía hasta mediados de la década de 2020, cuando se espera que, dado el crecimiento de la emigración y su desaceleración, sea India el motor principal de la demanda energética (figura I.1).



*As China slows, then India, Southeast Asia, the Middle East and parts of Africa & Latin America take over as the engines of global energy demand growth.*

Figura I.1.-Demanda de energía final. Fuente: AIE

A pesar del fuerte crecimiento esperado, la energía per cápita en el año 2040 en los países no pertenecientes a la OCDE estará todavía muy por debajo del promedio de los países de la OCDE en 1970. El progreso tecnológico y la mejora de la eficiencia energética permiten un mayor nivel de demanda de energía sin aumentar su consumo en dichos países.

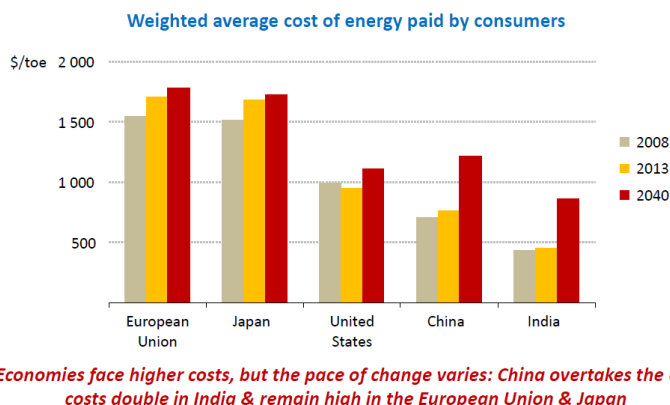


Figura I.2.- Coste promedio de energía pagada por consumidores. Fuente: AIE

### I.1.2.La edificación

La evolución del consumo de energía final, ha seguido una tendencia a la estabilización y contracción de la demanda a partir del año 2004, como consecuencia, según se ha comentado, de la mejora de la eficiencia energética y el efecto de la crisis entre 2009 y 2014.

El consumo de energía final suele dividirse en tres grandes sectores: industria, transporte y usos diversos, que incluye, a su vez, el sector primario (agricultura, ganadería y pesca), el sector servicios y el sector edificios y, dentro de este, el sector residencial. El sector residencial supone entre un 20 y un 40% de la energía final consumida en los países desarrollados. En España, el sector edificios supone un 26,1 % de la energía final consumida.

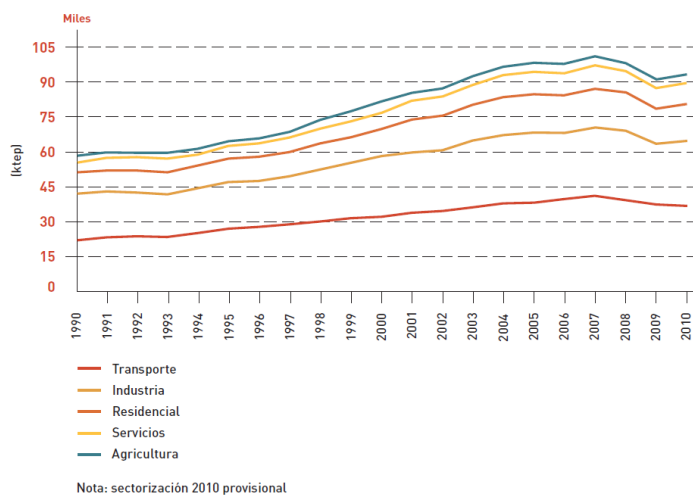


Figura I.3.- Evolución del consumo de energía final por sectores. Fuente: IDAE



Atendiendo a la distribución sectorial de la demanda hasta 2010 (figura I.3), el sector transporte es el mayor consumidor, con el 39,3% del consumo final. El siguiente es la industria, con un 30,2% del consumo, a la que siguen los sectores de usos diversos, entre los que destacan, con creciente protagonismo, los sectores residencial y servicios.

El sector residencial es un sector clave en el contexto energético actual, tanto nacional como comunitario, debido a la importancia que revisten sus necesidades energéticas, que en España, y en términos de energía final [2], significan el 17% del consumo final total y el 25% de la demanda de energía eléctrica. Diversos factores explican la representatividad y la tendencia al alza de sus consumos energéticos, tales como el incremento del número de hogares y el mayor confort requerido por ellos. Todo ello hace prever unas tendencias futuras al alza en cuanto a la representatividad del sector edificios en la demanda energética.

Por otra parte, el sector residencial, respecto a otros sectores de uso final en España, actualmente posee un menor consumo que ellos (como son el sector transporte o industrial). Sin embargo, es uno de los sectores, junto al sector servicios, que en los últimos años mayor crecimiento ha registrado en consumo.

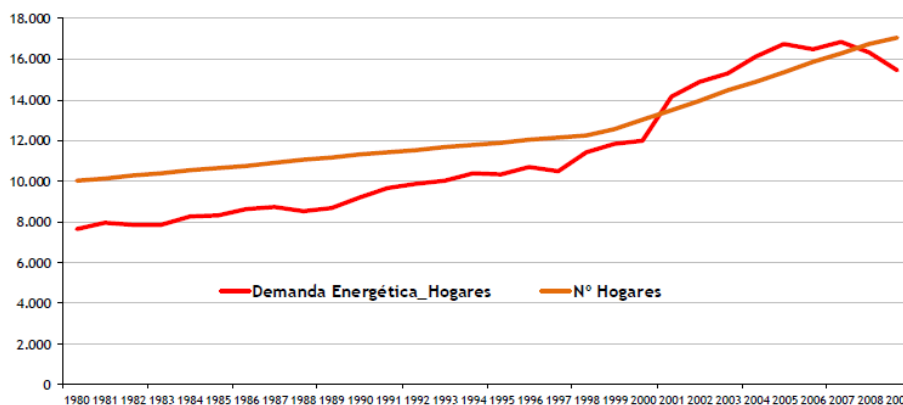


Figura I.4.- Tendencias del consumo energético (ktep) del sector residencial en España. Fuente: IDAE

El sector residencial registrará una moderación en el crecimiento de los consumos de energía final en la próxima década [3], como consecuencia de la moderación prevista del aumento de número de hogares. Sin embargo, se espera que continúe el crecimiento de los consumos de energía por hogar hasta 2.020, especialmente eléctrica. Las medidas de eficiencia continuarán incentivando la sustitución de equipos domésticos por otros más eficientes.

Por consiguiente, el sector edificación constituye un pilar importante hacia el que dirigir las actuaciones de política energética, como por ejemplo las medidas promovidas por los países de la Unión Europea de cara al cumplimiento de los objetivos fijados en el Protocolo de Kyoto. [4]

El sector servicios mantendrá su crecimiento tanto en actividad como en consumo energético. Su intensidad energética bajará menos que otros sectores económicos, dado que el mayor aumento de actividad provendrá de subsectores significativamente intensivos en consumo eléctrico, en particular los relacionados con la informática y las telecomunicaciones. Por tanto, es en este sector donde se detecta un mayor potencial de mejora de eficiencia, en el equipamiento eléctrico en oficinas (ofimática y climatización) y en otros edificios del sector terciario (hoteles, hospitales, etc.).

### **I.1.3.Unión Europea (UE)**

A pesar de la situación económica actual, en Europa se abordan el problema energético y el cambio climático con un triple objetivo en relación a:

- Seguridad de abastecimiento: desarrollo de una política exterior común estableciendo un diálogo con los Estados miembros y sus socios.
- Competitividad: de las economías europeas y abastecimiento energético a coste asequible.
- Sostenibilidad medioambiental: reforzando el liderazgo de la UE a través de la adopción de un plan de acción sobre la eficiencia energética y la continuación del desarrollo de las energías renovables.

El cambio climático y la política energética serán temas prioritarios de la UE, con importancia dentro de la estrategia de Lisboa [5] para el crecimiento y el empleo y fundamentales en las relaciones de Europa con el resto del mundo.

Para ello se ha ido definiendo desde la UE una política energética y edificatoria a través de normativa (directivas) que ha sido o está siendo traspuesta a la normativa propia de cada país.

Las directivas europeas establecen los objetivos que deben lograr los Estados miembros, pudiendo dichos Estados elegir los medios y medidas para hacerlo. Para que los principios establecidos en dichas directivas tengan efecto en la ciudadanía, cada estado debe

adoptar normativas de Derecho interno que conforme el ordenamiento jurídico nacional a los objetivos de las directivas. Las directivas fijan una fecha límite para la transposición al Derecho nacional. Así pues, los Estados miembros cuentan con un margen de maniobra que permite tener en cuenta sus características nacionales. La transposición tiene que realizarse dentro del plazo que marcan las directivas.

De forma resumida, se expone diversas estrategias de la UE en relación al sector residencial:

### **Compromiso de los “Cinco Veintes”**

Para el año **2020** la UE debe conseguir:

- **20 %** de reducción en las emisiones de gases de efecto invernadero sobre las cifras de 1990.
- **20 %** de de reducción en el consumo de energía, también con referencia a 1990, promoviendo mayor eficiencia energética.
- **20 %** de la energía primaria consumida ha de proceder de fuentes renovables.

### **Compromisos de reducción de consumo en edificios**

- Directiva 2010/31 relativa a la eficiencia energética de los edificios:
  - Proporcionar la metodología de cálculo de la eficiencia energética de los edificios.
  - Fija unos requisitos mínimos de eficiencia energética según el tipo de edificio (nuevo, existente,...)
  - Objetivo: edificios de consumo de energía casi nulo.
  - A partir del 31 de diciembre de 2020, todos los edificios nuevos deben tener un consumo de energía casi nulo, llamados así edificios CERO [6]. Los nuevos edificios que estén ocupados y que sean propiedad de las autoridades públicas deben cumplir los mismos criterios después del 31 de diciembre de 2018.
  - Establecimiento de sistemas de certificación de eficiencia energética.
- Directiva 2012/27 relativa a la eficiencia energética. Destaca:

- Aporta la obligatoriedad de dar ejemplo de las Administraciones.
- Los Estados miembros se comprometen a que las Administraciones Centrales adquieran solamente productos, servicios y edificios de alta eficiencia energética.
- Promoción de la eficiencia en la calefacción y la refrigeración
- Los Estados miembros establecerán una estrategia a largo plazo para la renovación de edificios residenciales y comerciales.

## **I.2. MARCO NORMATIVO Y SU EVOLUCIÓN HISTÓRICA**

La Directiva de eficiencia energética en edificios (EPBD: Energy Performance of Buildings Directive) es la principal norma europea dirigida a garantizar el cumplimiento de los objetivos de la UE respecto a la edificación, en lo referente a contención de emisiones de gases de efecto invernadero, al consumo energético y eficiencia energética y a la generación de energía a partir de fuentes renovables.

Sin embargo, fue con la Directiva 93/76/CEE relativa a la limitación de las emisiones de dióxido de carbono mediante la mejora de la eficacia energética, cuando comienza la preocupación de Europa por mejorar la eficiencia energética en sus edificios y, con ello, el objetivo de reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero. Ya en esta normativa se habla de algunos de los programas que se desarrollarán más adelante en la Directiva de eficiencia energética de los edificios (EPBD), como la certificación energética de edificios, el aislamiento térmico de los edificios nuevos y la inspección periódica de calderas.

En España, unos años antes, en 1980, comienza la aplicación de NBE CT-79 [7], norma básica de condiciones térmicas en los edificios, primera normativa española que exige la colocación de aislamiento térmico, lo que significa que más de 13 millones de viviendas pre-existentes (un 55% del parque edificatorio) no disponen de ningún requisito de ahorro de energía, y conforman edificios con una acusada pobreza energética.

Un año después se aprueba el Reglamento de Instalaciones de Calefacción y ACS (RICACS) [8], que establece condiciones para el diseño, cálculo y montaje de las instalaciones térmicas. De este modo se implanta una división edificio-instalaciones que no se ha resuelto en las actualizaciones posteriores de la norma de epidermis (DB-HE1) y el nuevo reglamento

de instalaciones (RITE [9]), aunque se hayan agrupado en el documento sobre ahorro de energía del Código Técnico de la Edificación (CTE) [10].

La NBE CT-79 estuvo en vigor durante 27 años sin modificación alguna. La sustitución del RICACS por el RITE llegó en 1998, 17 años después de su publicación.

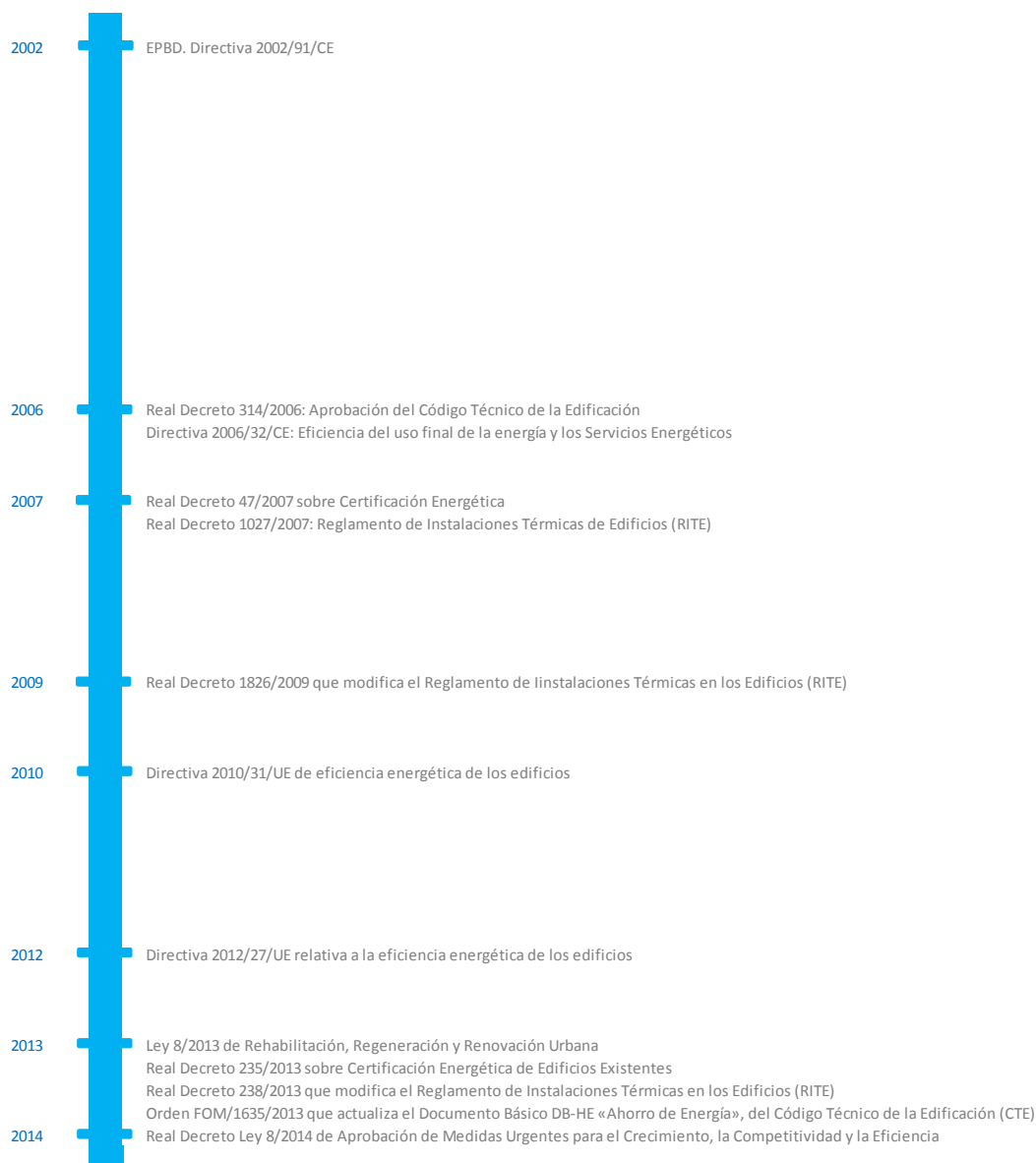


Figura I.5.- Planes relacionadas con la eficiencia energética en España y sus referentes.

Pero es con la Directiva de eficiencia energética en edificios (EPBD) en 2002, cuando se sientan las bases normativas sobre eficiencia energética en Europa.

En la figura I.5, se presenta un esquema de la evolución de la normativa española y directivas europeas desde el año 2002, momento en que podemos decir que se empezó a regular de forma clara la eficiencia energética en edificios.

### **I.2.1.Eficiencia energética en edificios: EPBD. Directiva 2002/91/CE**

Posteriormente a la "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)", los compromisos adquiridos en el Protocolo de Kyoto obligan a los países de la Unión Europea a fomentar la eficiencia energética. Dado que el sector de la edificación constituye un elevado porcentaje del consumo energético, el consejo de la Unión solicitó medidas específicas para el mismo. Se publica el 4 de enero de 2003 la Directiva 2002/91/CE [11] relativa a la eficiencia energética de los edificios. Esta obliga a los países miembros a su transposición antes de enero de 2006, permitiendo una extensión de tres años más para la aplicación de las disposiciones de los artículos 7, 8 y 9.

La Directiva de eficiencia energética en edificios (EPBD: Energy Performance of Buildings Directive) es la principal norma europea dirigida a garantizar el cumplimiento de los objetivos de la UE en edificación, en lo que respecta a emisiones de gases de efecto invernadero, a consumo y eficiencia energética y a generación de energía a partir de fuentes renovables.

La Directiva exige que tanto los edificios nuevos como los existentes de unas ciertas dimensiones que se sometan a reformas importantes, deban cumplir unos requisitos mínimos de eficiencia energética, adaptados a las condiciones climáticas locales. Además, la Directiva, obliga, en su artículo 7, a que *“cuando los edificios sean construidos, vendidos o alquilados, se ponga a disposición del propietario, o por parte del propietario, a disposición del posible comprador o inquilino, un certificado de eficiencia energética”*. Esto obliga a la existencia de un certificado tanto para edificios nuevos como existentes, en el caso de que se proceda a la venta o alquiler. De esta forma, la posible capacidad de actuación sobre el comportamiento energético de los edificios existentes aparece ligada, exclusivamente, al certificado de eficiencia energética propuesto por la Directiva.

Para integrar las condiciones climáticas y las particularidades locales dentro de la Unión, corresponde a los Estados Miembros desarrollar, a escala nacional o regional, una metodología de cálculo de la eficiencia energética de los edificios (artículo 3); sobre ésta, a su vez, han de establecer unos requisitos mínimos a cumplir por los inmuebles, que pueden ser distintos si son nuevos o existentes, y/o según su categoría (artículo 4). Se plantean ciertas condiciones para tales exigencias: su rentabilidad, considerando la relación coste-eficacia de los límites que introducen, y la compatibilidad con otras características que los edificios han de

reunir, como las relacionadas con la accesibilidad, la seguridad y el uso al que estén destinados (título preliminar nº9). Estas medidas se han de revisar al menos cada cinco años para reflejar los posibles progresos técnicos alcanzados (artículo 4).

Se permite a los Estados Miembros eximir de la aplicación de este tipo de criterios a los siguientes tipos de edificios:

- Edificios y monumentos protegidos oficialmente por ser parte de un entorno declarado o en razón de su particular valor arquitectónico o histórico, cuando el cumplimiento de tales requisitos pudiese alterar de manera inaceptable su carácter o aspecto.
- Edificios utilizados como lugares de culto y para actividades religiosas.
- Construcciones provisionales con un plazo previsto de utilización igual o inferior a dos años, instalaciones industriales, talleres y edificios agrícolas no residenciales de baja demanda energética y edificios agrícolas no residenciales que estén siendo utilizados por un sector cubierto por un acuerdo nacional sectorial sobre eficiencia energética.
- Edificios de viviendas que estén destinados a utilizarse durante menos de cuatro meses al año.
- Edificios independientes con una superficie útil total inferior a 50 m<sup>2</sup>.

Se considera la certificación energética como una herramienta importante para potenciar la transformación del mercado y, aplicada a los edificios existentes de la manera adecuada, parece un buen mecanismo para promover, entre los propietarios y arrendatarios, la inversión en medidas de mejora de la eficiencia energética.

La Directiva establece que la “*eficiencia energética*” de los edificios debe ser calculada con una metodología que comprenda no tan sólo el aislamiento térmico, sino también las instalaciones de calefacción y refrigeración, el uso de energías renovables y el diseño del edificio.

La definición que hace la Directiva de la “*eficiencia energética*” de un edificio, parámetro en el que deben basarse los procesos de regulación y certificación energética es la siguiente:

*“Cantidad de energía consumida para satisfacer las necesidades asociadas a un uso estándar del edificio”.*

Con esta definición queda claro que el único indicador de esta eficiencia es el consumo energético (en kWh/año) del edificio. Este indicador habitualmente se expresa en forma específica al área útil de la vivienda construida como kWh/m<sup>2</sup> y se suele expresar también en kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> o kg CO<sub>2</sub>/año.

La definición oficial que la Directiva hace del certificado de eficiencia energética (artículo 2) es la siguiente: *“un certificado reconocido por el Estado miembro, o por una persona jurídica designada por él, que incluye la eficiencia energética de un edificio...”* Dado que el concepto de eficiencia energética se define (artículo 2) como *“la cantidad de energía consumida realmente o que se estime necesaria para satisfacer las distintas necesidades asociadas a un uso estándar del edificio [...] Dicha magnitud deberá quedar reflejada en uno o más indicadores cuantitativos...”*, el primer paso del proceso de certificación consistirá en la caracterización energética del edificio, entendiéndose como tal, el proceso para la determinación de los indicadores cuantitativos, asociados al comportamiento energético del mismo.

De la definición dada sobre la eficiencia energética en el párrafo anterior se deduce que existen dos posibles vías para la obtención de la eficiencia energética de un edificio.

- Una de ellas es la que proporciona el consumo real del edificio, que estará constituida por un sistema de caracterización basado en medidas (auditorías energéticas).
- La otra es la que facilita una estimación del consumo energético del edificio para unas condiciones estándar de uso, por lo que requerirá de la implementación de un método de cálculo para la simulación del mismo.

Los resultados arrojados por un sistema de caracterización energética basado en medidas van a diferir siempre de los correspondientes a un sistema basado en la simulación. Las razones que fundamentan esta afirmación son:

- Un método de cálculo implica el desarrollo de un modelo que simule el edificio y sus sistemas, que siempre estará sujeto a simplificaciones.
- La construcción del edificio y la instalación de sus sistemas no siempre se corresponde con lo proyectado (existencia de superficies con escasez de



aislamiento, deficiencias en la puesta en servicio de los sistemas de climatización, etc.).

- El edificio puede operar de una manera ineficiente (luces encendidas innecesariamente, consignas por encima de lo necesario, etc.), o simplemente de manera diferente a la simulada.
- Degradación, debida al paso del tiempo, de las eficiencias de los equipos y sistema de iluminación.
- La modelización de las condiciones climatológicas locales suelen simplificarse a ciudades de relevancia próximas, siendo pues un comportamiento similar pero no exacto al de la ubicación del edificio.

Al emplear un sistema de evaluación basado en simulación se procederá a comparar la eficiencia energética estimada del edificio para uso estándar, con unos valores de referencia que pueden estar relacionados con la normativa vigente. Este sistema proporcionará una medida del comportamiento energético del edificio y sus sistemas, sin tener en cuenta aspectos tan importantes como la operación, el mantenimiento y las posibles deficiencias durante la construcción y la instalación de los sistemas en los edificios existentes. Esto puede ser suficiente, incluso conveniente, si se trata únicamente de informar al consumidor sobre la eficiencia energética en un edificio tal y como fue proyectado, pero si el objetivo es la mejora global de la eficiencia energética, un sistema de evaluación basado en medidas para la certificación de edificios existentes constituiría la forma idónea de actuación sobre aspectos importantes de la eficiencia energética como son la operación y el mantenimiento.

Por tanto, ambas vías no son alternativas sino complementarias, ya que la certificación basada en un modelo nos aporta una idea de la eficiencia energética que posee el edificio en su diseño, y la de las medidas, de aquella que posee en su operativa real. La primera nos dice como se puede mejorar el diseño, y la segunda, por comparación con la primera, como se puede mejorar mediante operación y mantenimiento.

En último lugar, la Directiva obliga a incluir en el certificado unas recomendaciones para la mejora de la relación coste-eficacia de la eficiencia energética. En este sentido, el empleo de un método de cálculo para la caracterización energética de los edificios presenta una ventaja en cuanto a la posibilidad de estimación de potenciales de ahorro, que puede llevarse a cabo a través de variaciones de los parámetros de entrada. Además, la herramienta

de simulación permitirá obtener un desglose del consumo por usos (calefacción, refrigeración, agua caliente sanitaria e iluminación), que será muy útil para localizar los mayores potenciales de mejora.

Las vías fundamentales para la disminución de las emisiones de CO<sub>2</sub> se dividen en dos bloques:

- El primero se basa en la utilización de fuentes de energía renovables.
- El segundo está encaminado a disminuir el consumo energético, mediante la mejora de la eficiencia energética y mediante el ahorro directo de energía.

Este ahorro puede venir dado a partir de edificios concebidos para un buen aprovechamiento energético, con aislamiento apropiado y aprovechando la energía solar.

En su Anexo 1, esta Directiva define la adecuación para el desarrollo de metodologías de cálculo de carácter nacional o regional:

*Marco general en el que deberá inscribirse el cálculo de la eficiencia energética de los edificios (artículo 3):*

1. *La metodología de cálculo de la eficiencia energética de los edificios deberá integrar al menos los aspectos siguientes:*
  - a) *Características térmicas del edificio (cerramientos exteriores e interiores, etc.). Estas características podrán incluir así mismo la estanqueidad del aire.*
  - b) *Instalación de calefacción y de agua caliente, y sus características de aislamiento.*
  - c) *Instalación de aire acondicionado.*
  - d) *Ventilación.*
  - e) *Instalación de iluminación artificial (especialmente en la parte no residencial).*
  - f) *Disposición y orientación del edificio, incluidas las condiciones climáticas exteriores.*

- g) *Sistemas solares pasivos y protección solar.*
- h) *Ventilación natural.*
- i) *Las condiciones ambientales interiores, incluidas las condiciones ambientales interiores proyectadas.*

Según la Directiva, la certificación energética debe evaluar la eficiencia energética y el ahorro potencial del edificio por lo que se debe obtener vía simulación, donde se establezcan unas condiciones de operación y de consigna fijas.

El período de validez de este certificado es de 10 años, por lo que debe hacer referencia a aquellos aspectos del edificio que tengan esa vigencia. La operación correcta de los sistemas consumidores de energía en un edificio es un factor que depende mucho de las personas que ocupen el edificio en cada momento.

Un resumen de las medidas planteadas en la Directiva se representa en la figura I.6.

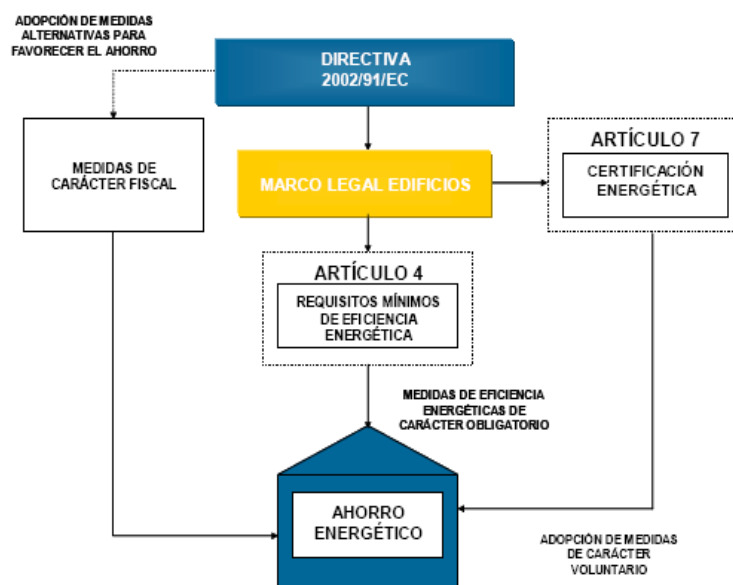


Figura I.6.- Metodología definida en la Directiva 2002/91/CE.

La necesidad de actuar sobre edificios existentes exige medidas para potenciar el ahorro directo de energía. Para ello la simulación como método para la obtención del indicador energético a evaluar deja de lado la valoración sobre el uso que se está haciendo de los sistemas, ya que se propone un uso estándar en el modelo simulado. Sin embargo un método basado en medidas si valora el factor operacional, ya que el procedimiento obliga a analizar los consumos energéticos reales, procedentes de facturas o medidas.

Según la Directiva, se espera que se reduzca en 40 Mtep el consumo energético en el sector edificación, entre el 2006 (año de inicio de la Directiva) y el 2020, mediante la aplicación de una metodología común para el cálculo de la eficiencia energética.

### **I.2.2.Real Decreto 314/2006: Aprobación del Código Técnico de la Edificación**

Los compromisos adquiridos por España y por la UE a la hora de limitar las emisiones de dióxido de carbono a la atmósfera obligan, entre otras cosas, a optimizar y racionalizar el uso de la energía en los edificios. En ese sentido, el Código Técnico de la Edificación (CTE) da cumplimiento a la Directiva Europea que obliga a los Estados miembros a fijar unos requisitos mínimos de eficiencia energética para los edificios nuevos y para grandes edificios existentes que se reformen. Para ello, el CTE plantea la reducción de la demanda energética de los edificios mediante técnicas constructivas sostenibles, junto al uso de energía solar como fuente de abastecimiento energético. Así, el CTE, en su documento básico DB HE de Ahorro de Energía, establece cinco exigencias energéticas básicas que deben cumplir tanto los edificios nuevos como los que se sometan a rehabilitación.

Estas exigencias son:

0. Limitación del consumo energético de los edificios en función de la zona climática de su ubicación y del uso previsto. Se limita la contribución mínima de dicho consumo de energía procedentes de fuentes renovables..
1. Limitación de la demanda energética, fijando las características de los cerramientos y de la envolvente térmica de los edificios. Los edificios dispondrán de una envolvente de características tales que limite adecuadamente la demanda energética necesaria para alcanzar el bienestar térmico en función del clima de la localidad, del uso del edificio y del régimen de verano y de invierno, así como por sus características de aislamiento e inercia, permeabilidad al aire y exposición a la radiación solar, reduciendo el riesgo de aparición de humedades de condensación superficiales e intersticiales que puedan perjudicar sus características y tratando adecuadamente los puentes térmicos para limitar las pérdidas o ganancias de calor y evitar problemas higrotérmicos en los mismos.
2. Rendimiento de las instalaciones térmicas. Los edificios dispondrán de instalaciones térmicas apropiadas destinadas a proporcionar el bienestar térmico de sus ocupantes, regulando el rendimiento de las mismas y de sus

equipos. Esta exigencia se desarrolla actualmente en el vigente Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios, RITE, y su aplicación quedará definida en el proyecto del edificio.

3. Eficiencia energética de las instalaciones de iluminación. Los edificios dispondrán de instalaciones de iluminación adecuadas a las necesidades de sus usuarios y a la vez eficaces energéticamente disponiendo de un sistema de control que permita ajustar el encendido a la ocupación real de la zona, así como de un sistema de regulación que optimice el aprovechamiento de la luz natural, en las zonas que reúnan unas determinadas condiciones.
4. Contribución solar mínima de agua caliente sanitaria, que deberá producirse con energía solar térmica. En los edificios, con previsión de demanda de agua caliente sanitaria o de climatización de piscina cubierta, en los que así se establezca en este CTE, una parte de las necesidades energéticas térmicas derivadas de esa demanda se cubrirá mediante la incorporación en los mismos de sistemas de captación, almacenamiento y utilización de energía solar de baja temperatura, adecuada a la radiación solar global de su emplazamiento y a la demanda de agua caliente del edificio. Los valores derivados de esta exigencia básica tendrán la consideración de mínimos, sin perjuicio de valores que puedan ser establecidos por las administraciones competentes y que contribuyan a la sostenibilidad, atendiendo a las características propias de su localización y ámbito territorial.
5. Contribución fotovoltaica mínima de energía eléctrica para edificios del sector terciario, dependiendo de su superficie. En los edificios que así se establezca en este CTE se incorporarán sistemas de captación y transformación de energía solar en energía eléctrica por procedimientos fotovoltaicos para uso propio o suministro a la red. Los valores derivados de esta exigencia básica tendrán la consideración de mínimos, sin perjuicio de valores más estrictos que puedan ser establecidos por las administraciones competentes y que contribuyan a la sostenibilidad, atendiendo a las características propias de su localización y ámbito territorial.

La implantación de esta normativa supone un ahorro energético para cada edificio y con respecto al consumo que tendría el mismo si fuera construido según la legislación anterior,

de un 30-40% y una reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> por consumo de energía de un 40-55%, según estimaciones del Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE).

Igualmente, el CTE se aplicará a las obras de ampliación, modificación, reforma o rehabilitación que se realicen en edificios existentes, siempre y cuando dichas obras sean compatibles con la naturaleza de la intervención y, en su caso, con el grado de protección que puedan tener los edificios afectados.

La posible incompatibilidad de aplicación deberá justificarse en el proyecto y, en su caso, compensarse con medidas alternativas que sean técnica y económicamente viables.

El uso de esta nueva reglamentación basada en prestaciones supone la configuración de un entorno más flexible, fácilmente actualizable conforme a la evolución de la técnica y la demanda de la sociedad y basado en la experiencia de la normativa tradicional.

### **I.2.3. Directiva 2006/32/CE: Eficiencia del uso final de la energía y los Servicios Energéticos**

Esta Directiva plantea la necesidad de mejorar la eficiencia del uso final de la energía, lo que permitirá aprovechar potenciales y ahorros de energía de forma económicamente eficiente. Las medidas de mejora de la eficiencia energética podrían permitir un elevado ahorro energético y de este modo contribuir a que la Comunidad reduzca su dependencia energética.

Propone un objetivo energético nacional de ahorro del 9% para el noveno año de aplicación de la misma, es decir, el año 2016.

La directiva hace especial hincapié en que las medidas de mejora de la eficiencia energética deberán dar lugar a ahorros de energía que puedan medirse y verificarse o estimarse claramente. Para ello se desarrollará un método para la medición y la verificación de ahorro de energía y se definirá una autoridad responsable en cada país que vigile el proceso.

Las instalaciones de calefacción, climatización y agua caliente sanitaria (ACS) representan un porcentaje muy elevado del consumo de energía de los edificios y están por lo tanto afectadas por el cumplimiento de este objetivo de ahorro energético que fija la nueva Directiva.

Los Estados miembros asegurarán la existencia de sistemas de auditoría energética de gran calidad y eficientes, elaborados para determinar potenciales medidas de mejora de la

eficiencia energética y que se lleven a cabo de manera independiente, a disposición de todos los consumidores finales, incluidos los clientes de menor entidad de los de los sectores industrial (pequeños y medianos), comercial y doméstico.

Para que se las tenga en cuenta, estas medidas de mejora de la eficiencia energética deben dar lugar a ahorros de energía que puedan medirse y verificarse o estimarse claramente.

#### **I.2.4. Real Decreto 47/2007 sobre Certificación Energética**

En este Real Decreto se define el procedimiento básico para la certificación de eficiencia energética de edificios de nueva construcción, quedando pendiente de regulación, mediante otra disposición complementaria, la certificación energética de los edificios existentes (aprobada 6 años después). Entró en vigor el 30 de abril de 2007, siendo de aplicación voluntaria hasta el 31 de octubre de 2007, y obligatorio a partir de esa fecha.

Este decreto resulta bastante general. Define la obligatoriedad de la certificación y los requisitos de los programas informáticos que se deben emplear, pero deja en manos de las comunidades autónomas el desarrollo de procedimientos de implantación y, muy importante, el control de esta certificación energética.

Así, son las autonomías las que, a partir de este decreto o directamente desde la directiva si tienen competencias para ello, debían establecer los procedimientos administrativos necesarios, el alcance y las características de los controles al edificio para garantizar la veracidad del certificado y otros temas, como el procedimiento para la renovación del certificado.

El certificado de eficiencia energética se debe incluir en el libro del edificio y tiene una vigencia de 10 años, tras los cuales el edificio se debería volver a calificar para que la etiqueta que muestre sea adecuada a la realidad del edificio.

La emisión y registro de certificados y los procedimientos de verificación y control son competencia de las comunidades autónomas.

#### **Metodología de cálculo**

Para poder calificar energéticamente un edificio se realiza una modelización teórica del consumo energético del edificio. Así, en la fase de proyecto se debe calcular la demanda de energía del edificio a proyectar.

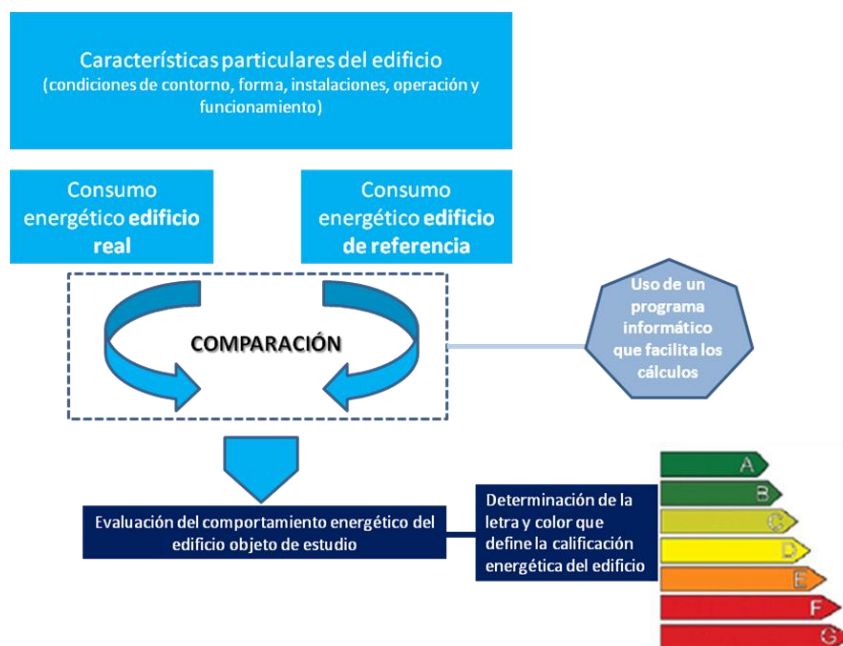


Figura I.7.- Real Decreto 47/2007: Metodología de cálculo de la calificación energética.

Las opciones de cálculo para la aplicación práctica de la certificación de edificios son 2: método general y método simplificado.

### PROCEDIMIENTOS

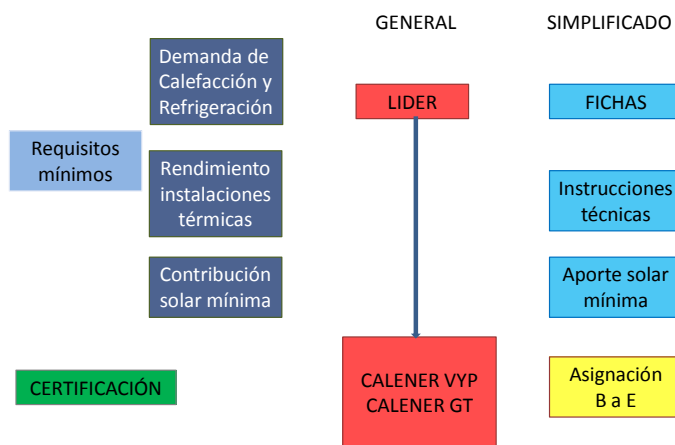


Figura I.8.- Esquema procedimientos cálculo de la calificación en España.

Los edificios son sistemas complejos, e intentar modelizarlos y compararlos es extremadamente difícil sin caer en simplificaciones. Por ello, a la hora de obtener la calificación energética del edificio, se ha determinado la posibilidad de poder escoger entre estas dos opciones, general y simplificada, (figura I.8), y según la opción elegida se puede acceder a una clase de eficiencia u otra.



### Opción General

En esta opción se utilizan los programas de cálculo de referencia, que deben estar reconocidos como tales para ser válidos para obtener el certificado y están disponibles públicamente.

Dentro de esta opción se ha realizado una distinción entre los edificios destinados a viviendas y el resto, ya que en los primeros se puede esperar un comportamiento más homogéneo que en los segundos, que incluyen usos más diversos como hospitales, edificios agrícolas, locales comerciales,...

Así para los edificios destinados a viviendas se hizo un estudio de campo seleccionando 14 edificios de viviendas unifamiliares y 11 plurifamiliares, con las 4 orientaciones posibles y en las 12 localizaciones climáticas posibles según el CTE. Con estas características, se calcularon las emisiones totales asociadas a cada una de las tipologías. Entonces, la calificación energética para viviendas se obtiene por comparación con uno de estos edificios de referencia, el más similar en tipología al edificio que se desea calificar.

Para los edificios no residenciales, en los que resulta muy difícil generar unas tipologías estándar con sus correspondientes consumos y emisiones estimados, la comparación se realiza con un edificio ficticio, llamado edificio de referencia, que se caracteriza por tener el mismo diseño que el edificio a calificar y cumple los requisitos mínimos que marca el CTE.

En la actualidad es posible certificar por la opción general con dos programas informáticos:

- CALENER-GT: Para la calificación de eficiencia energética de grandes edificios del sector terciario.
- CALENER VYP: Para la calificación de eficiencia energética de edificios de viviendas y del pequeño y mediano terciario.

Ambos programas son gratuitos y están accesibles públicamente en el registro de documentos reconocidos del Ministerio de Industria, Energía y Turismo.

### Opción Simplificada

La opción simplificada se basa en el cumplimiento de los mínimos que marca el CTE. Un edificio puede obtener una calificación más baja o distinta si en el cálculo se utiliza la opción simplificada que si se utiliza la opción general. La clase de eficiencia en este caso se

obtiene de manera indirecta, a través de soluciones técnicas que mejorarían el comportamiento energético del edificio respecto a los requisitos básicos que marca el CTE. Las soluciones sólo incluyen un parámetro de compacidad y las eficiencias de las máquinas de calefacción, refrigeración y ACS, y además, en algunas de estas categorías no están definidos parámetros, o todas las eficiencias son permitidas, por lo que no hay un gran margen para diferenciar o premiar soluciones eficientes.

Para esta opción simplificada tenemos diversos métodos o programas reconocidos que lo calculan en la actualidad:

- CE3: Procedimiento simplificado válido para edificios existentes.
- CE3X: Procedimiento simplificado válido para edificios existentes.
- CERMA: Procedimiento simplificado válido para edificios nuevos y existentes.
- CE2: Procedimientos simplificados de carácter prescriptivo para la calificación de eficiencia energética de edificios de viviendas.

Estos 4 procedimientos están presentes de forma gratuita en la web del Ministerio de Industria, Energía y Turismo.

### **I.2.5. Real Decreto 1027/2007: Reglamento de Instalaciones Térmicas de Edificios (RITE)**

Dicho reglamento fue probado por el Real Decreto 1027/2007, de 20 de julio.

El Reglamento constituye el marco normativo básico en el que se regulan las exigencias de eficiencia energética y de seguridad que deben cumplir las instalaciones térmicas en los edificios para atender la demanda de bienestar e higiene de las personas.

Con el fin de facilitar su comprensión y utilización, el RITE se ordena en dos partes:

- a) La Parte I, Disposiciones Generales, que contiene las condiciones generales de aplicación del RITE y las exigencias de bienestar e higiene, eficiencia energética y seguridad que deben cumplir las instalaciones térmicas.
- b) La Parte II, constituida por las Instrucciones Técnicas (IT), que contiene la caracterización de las exigencias técnicas y su cuantificación, con arreglo al desarrollo actual de la técnica. La cuantificación de las exigencias se realiza mediante el establecimiento de niveles o valores límite, así como procedimientos expresados en

forma de métodos de verificación o soluciones validadas por la práctica cuya utilización permite acreditar su cumplimiento.

A efectos de la aplicación del RITE se considerarán como instalaciones térmicas las instalaciones fijas de climatización (calefacción, refrigeración y ventilación) y de producción de agua caliente sanitaria, destinadas a atender la demanda de bienestar térmico e higiene de las personas.

El RITE se aplicará a las instalaciones térmicas en los edificios de nueva construcción o en sus reformas y a las instalaciones térmicas en los edificios existentes, en lo relativo a su reforma, mantenimiento, uso e inspección.

### **I.2.6. Real Decreto 1826/2009 que modifica el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE)**

El 27 de noviembre de 2009, se publicó en el Boletín Oficial del Estado (BOE) el Real Decreto 1826/2009 que modifica el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE). Este Real Decreto, además de otras cuestiones referentes al rendimiento y tipo de calderas a instalar a partir de 2010, establece limitaciones en lo referente a la temperatura interior a mantener dentro de los locales habitables, tanto en invierno como en verano, en los siguientes tipos de locales:

- Administrativo.
- Comercial: tiendas, supermercados, grandes almacenes, centros comerciales y similares.
- Pública concurrencia.
- Culturales: teatros, cines, auditorios, centros de congresos, salas de exposiciones y similares.
- Establecimientos de espectáculos públicos y actividades recreativas.
- Restauración: bares, restaurantes y cafeterías.
- Transporte de personas: estaciones y aeropuertos.

En este Real Decreto se fija una temperatura mínima en verano en estos locales de 26°C, mientras que la máxima de invierno se fija en 21°C, estando la humedad relativa siempre comprendida entre un 30% y un 70%.

Se ha publicado un artículo [12] que analiza el ahorro energético conseguido mediante la implementación de esta medida. En él queda reflejado que la limitación de temperatura planteada ahorra energía sin afectar el confort, algo que se ha demostrado a través de la simulación energética de diversos edificios.

El ahorro energético conseguido con esta medida se ha evaluado mediante la herramienta informática de referencia para la calificación energética de grandes edificios terciarios, CALENER-GT, ya que esta herramienta permite simular el comportamiento energético del edificio en todas las zonas climáticas en las que se ha dividido España en base horaria. Además permite la modificación de las temperaturas de consigna, tanto de calefacción como de refrigeración.

Con objeto de evaluar el ahorro energético conseguido mediante la modificación de las temperaturas se ha realizado la simulación del comportamiento energético de varios edificios del sector terciario. Los edificios utilizados para evaluar los ahorros energéticos conseguidos mediante la modificación de la temperatura de uso de los edificios se corresponden con las distintas tipologías de edificios afectados por el Real Decreto, tratándose de un centro comercial, un edificio de oficinas (el cual es uno de los casos a estudiar en esta tesis), unos grandes almacenes y un edificio dedicado a servir como juzgado. Las simulaciones realizadas se corresponden con las 12 zonas climáticas en las que se ha dividido el territorio del estado a efectos de cumplimiento del Documento Básico HE1 de "Limitación de la Demanda Térmica" del Código Técnico de la Edificación (CTE) y que también se utilizan para la determinación de la calificación energética de los edificios. Para cada una de estas localidades se han realizado dos simulaciones por edificio, una primera utilizando como temperatura de consigna para las instalaciones de calefacción y refrigeración 22°C y 25°C respectivamente, y una segunda utilizando como temperaturas de consigna 21°C para el caso de la calefacción y 26°C para la refrigeración.

Dada la gran variabilidad de tipologías de edificios, instalaciones en los mismos, climas en España, usos de los edificios, etc., el ahorro energético conseguido con la medida depende de multitud de factores propios del edificio (orientación, cerramientos, tipo de instalaciones de climatización, horario de uso, etc.). Puede afirmarse que se consigue una reducción de entre

un 7% y un 11% de la demanda total de climatización (incluyendo calefacción, refrigeración, ventilación, bombas y auxiliares y sistema de condensación), que representa entre un 4% y un 6% sobre el consumo total del edificio, que además incluye el consumo eléctrico en iluminación.

Se comprueba además que el ahorro energético conseguido depende de la climatología de la localidad en la que se encuentra situado el edificio. El ahorro energético conseguido es más importante para las localidades con climas templados (costeras, tanto mediterráneas como atlánticas), donde la variación de 1º C en la temperatura de consigna tanto de refrigeración como de calefacción implica una mayor variación del número de horas de funcionamiento de los sistemas de calefacción y refrigeración.

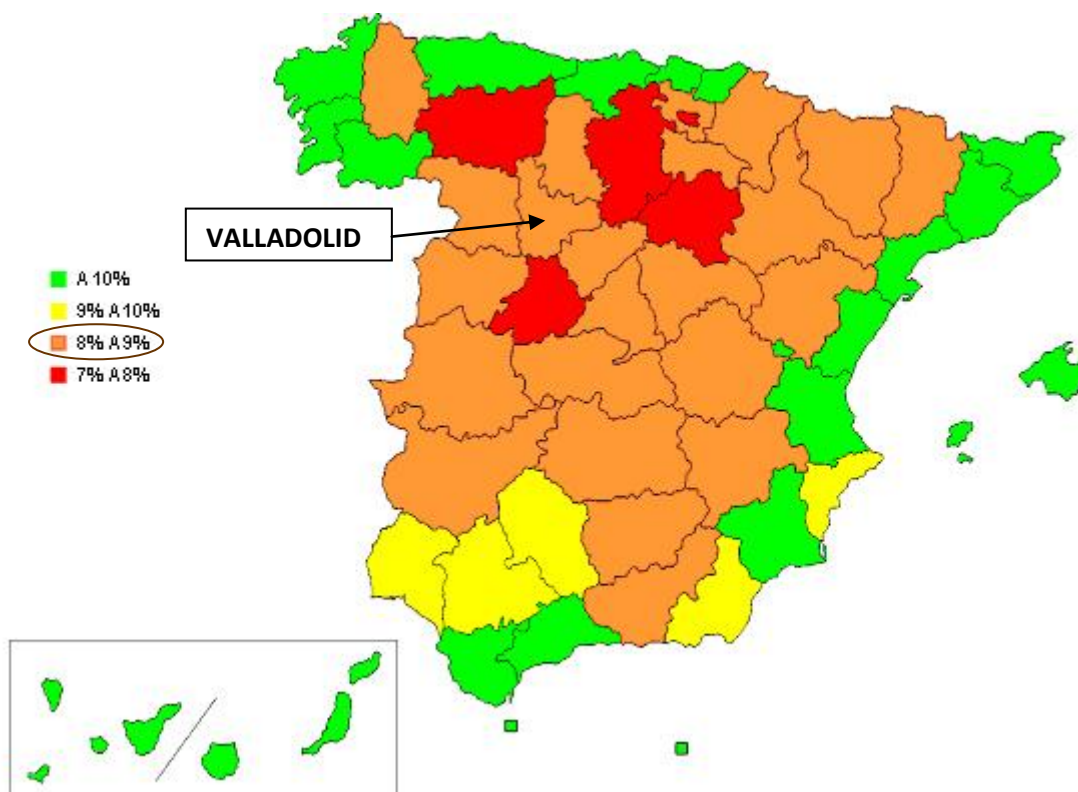


Figura I.9.- Porcentaje de ahorro sobre consumo energético en climatización con RITE 2009.

La figura I.9 debe de interpretarse con precaución, ya que se han calculado los ahorros para las capitales de provincia que los programas de referencia para la certificación energética de edificios utilizan como representativas de cada zona climática, extendiéndose el resultado a todas las capitales de provincia con la misma zona climática y de éstas capitales al resto de la provincia. Por tanto, existirán casos en los que el clima en la capital de provincia sea sensiblemente diferente del registrado en otras zonas de la provincia. Sirvan como ejemplos

los casos de Granada o Lugo, donde el clima en la capital es sensiblemente diferente al clima en la zona costera.

No obstante, se considera representativa la figura en el sentido de que indica que los ahorros energéticos conseguidos son sensiblemente superiores en las zonas costeras con climas oceánicos o mediterráneos que las zonas del interior del país con clima continental.

### **I.2.7. Directiva 2010/31/UE de eficiencia energética de los edificios**

El 19 de Mayo de 2010 se aprobó la refundición de la Directiva EPBD (recast EPBD), “Directiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 19 de mayo de 2010, relativa a la eficiencia energética de los edificios (refundición)”.

A partir del 1 de febrero de 2012, quedó derogada la Directiva 2002/91/CE.

La Directiva EPBD recast es mucho más exigente y da más importancia a la calidad y el impacto de los certificados energéticos, incluyendo las inspecciones.

#### **Requisitos de eficiencia energética**

Se introduce un nuevo concepto: el “marco metodológico comparativo para calcular los niveles óptimos de rentabilidad de los requisitos mínimos de eficiencia energética de los edificios y de sus elementos”.

Cada Estado Miembro, seguirá siendo el responsable del desarrollo de los métodos de cálculo de la eficiencia energética (art. 3), y el establecimiento, a partir de los anteriores, de los requisitos sobre los edificios (art. 4). Dada esta metodología de cada Estado Miembro, se introduce un método adicional que permite calcular los requisitos sobre los edificios que representarían el óptimo desde el punto de vista de la rentabilidad económica, y compararlos con los que cada Estado Miembro posee según el mencionado artículo 4. Si el desvío es mayor del 15%, según el título preliminar 14, el Estado en cuestión ha de justificarlo ante la Comisión o presentar un plan para corregirlo. Se pretende pues, que las condiciones de eficiencia puestas por los Estados Miembros no sean demasiado bajas y marcar una pauta común sin necesidad de intervención de la Comisión.

La Comisión Europea publicó dicho marco el 30 de junio de 2011 (art.5), aunque no fue hasta el 16 de enero de 2012 cuando estuvo disponible el Reglamento Delegado correspondiente. Los Estados Miembros disponían hasta el 30 de junio de 2012 para

comunicar a la Comisión los resultados de estos análisis (Art. 5 de la Directiva 2010/31/UE y Arts. 5.2 y 6 del Reglamento Delegado 244/2012).

### **Edificios de Consumo Energético Casi Nulo**

La Directiva define el “Edificio de Consumo Energético Casi Nulo” como aquel edificio “[...] con un nivel de eficiencia energética muy alto [...]. La cantidad casi nula o muy baja de energía requerida debería estar cubierta, en muy amplia medida, por energía procedente de fuentes renovables, incluida energía procedente de fuentes renovables producida in situ o en el entorno”. La Directiva, además, establece las fechas de 31 de Diciembre de 2018 para su aplicación a todos los nuevos edificios que sean propiedad o estén ocupados por administraciones públicas, y 31 de Diciembre de 2020 para todos los edificios nuevos.

Cada Estado Miembro debe proceder a la definición de Edificio de Consumo Energético Casi Nulo (o, lo que es lo mismo, su objetivo), y actuar sobre el mercado para que en 2020 dicho objetivo sea rentable desde el punto de vista de la metodología de coste óptimo antes mencionada.

### **Certificados de eficiencia energética**

#### Contenido del Certificado

Este es el elemento que más se desarrolla respecto a la norma de 2002.

Se debe incluir la medida de la eficiencia energética y otros valores de referencia como requisitos mínimos de eficiencia energética. Opcionalmente podrá incluir información sobre consumo anual de energía (en edificios no residenciales) y porcentaje de energía renovable sobre el consumo total.

Las recomendaciones de mejora se deben poner en relación a los niveles óptimos de eficiencia energética, y se exige tratar las reformas importantes a nivel de edificio y las reformas de elementos independientes.

Se plantea opcionalmente estimar los plazos de recuperación de la inversión o rentabilidad en su vida útil, y se obliga a facilitar referencias sobre cómo obtener información más detallada sobre esas obras y sobre cómo emprenderlas.

### Obligación de obtener el certificado

La Directiva de 2002 obligaba a edificios que se construyan, que se vendan o alquilen. Esta obligación se amplía a los edificios ocupados por una administración pública, mayores de 500 m<sup>2</sup> (250 desde el 9 de julio de 2015) frecuentados por público.

### Obligación de mostrar o exponer el certificado

Según la Directiva 2002, es obligatoria exponer el certificado en edificios de más de 1000 m<sup>2</sup> "ocupados por administraciones públicas o instituciones que presenten servicios públicos" frecuentados por el público. En el texto refundido de 2010, esta obligatoriedad se limita a edificios ocupados por administraciones públicas y frecuentados por el público, y la superficie baja a los 500 m<sup>2</sup>, que será de 250 m<sup>2</sup> a partir del 9 de julio de 2015.

Asimismo, la obligación se extiende a las superficies de más de 500 m<sup>2</sup> frecuentadas por el público en edificios que estén obligados a disponer del certificado.

Por otra parte, se obliga a mostrar el certificado a compradores o arrendatarios potenciales, y a entregárselo a los compradores y arrendatarios finales. Para compras y alquileres en edificios no construidos, se permite ofrecer una "evaluación de su eficiencia energética futura" y se obliga a expedir el certificado en cuanto termine la construcción.

Finalmente, en los anuncios de venta o alquiler en medios de comunicación es obligatorio incluir el indicador de eficiencia energética, cuando el edificio o unidad objeto de la operación disponga de él.

### **Adopción por los Estados Miembros: España**

En España, la Directiva se traspone a través en el *Documento Básico Ahorro de Energía (HE)* del *Código Técnico de la Edificación* [9], y el *Reglamento de Instalaciones Técnicas en los Edificios (RITE)* [10]. También por la *Ley de Economía Sostenible* [11].

### Certificación energética

España aplicó la EPBD 2002 en lo relativo a certificación de edificios nuevos con el *Procedimiento básico para la certificación de eficiencia energética de edificios de nueva construcción* [13] en 2007.

En noviembre de 2011, la Comisión Europea llevó al Tribunal Europeo de Justicia la inexistencia en España de regulación para la certificación de edificios existentes, y una serie de defectos de aplicación de la Directiva respecto a las inspecciones en calderas [14].



Finalmente se publicó el *Procedimiento básico para la certificación de la eficiencia energética de los edificios* [15] en 2013, como se verá posteriormente.

#### Edificios de Consumo Energético Casi Nulo

La trasposición de la obligación de que todos los edificios construidos desde el 31 de diciembre de 2020 (2018 para los ocupados y de titularidad pública) sean edificios de consumo de energía casi nulo (edificios ya definidos previamente), y la determinación de que los requisitos a satisfacer serán los que en ese momento determine el Código Técnico de la Edificación, se realizó a través de la Disposición Adicional Segunda del Real Decreto 235/2013.

#### **I.2.8. Directiva 2012/27/UE relativa a la eficiencia energética de los edificios**

En marzo de 2011, la Comisión relativa al Plan de Eficiencia Energética comunica, que la Unión Europea no alcanzará los objetivos de aumentar la eficiencia energética en un 20% para el año 2020 si no se toman medidas urgentes. De aquí surge la necesidad de la Directiva 2012/27/UE en materia de Eficiencia Energética. Esta directiva deroga las directivas 2004/8/CE (fomento de la cogeneración) y 2006/32/CE (eficiencia del uso final de la energía y servicios energéticos), y a su vez modifica las directivas 2009/125/CE (requisitos de diseño ecológico aplicable a productos relacionados con la energía) y 2010/30/UE (etiquetado de dichos productos)

En Noviembre de 2012 Europa publica la que es la última y actual Directiva 2012/27/UE. Esta directiva, complementa a la Directiva de 2010, en lo referente a la función ejemplarizante de los edificios de los organismos públicos e intenta conseguir el objetivo marcado del 20 % de ahorro de energía, dentro del Plan 20/20/20 de lucha contra el cambio climático.

Las obligaciones concretas marcadas por esta Directiva se centran en:

- Renovación anual de al menos el 3% de los edificios públicos con una superficie superior a 500 m<sup>2</sup>.
- Establece un sistema de obligaciones de eficiencia energética (certificados blancos) para alcanzar unos objetivos de 1,5% de ahorro energético de las ventas anuales a clientes finales, para las distribuidoras y comercializadoras eléctricas.
- Realización de auditorías energéticas obligatorias para las empresas que no sean PYMEs, antes del 5 de diciembre de 2015 y cada cuatro años.

- Fomento de la cogeneración de alta eficiencia y de las redes urbanas de calefacción y refrigeración eficientes.
- Difusión y regulación de los servicios energéticos, ya que Europa considera que son una magnífica herramienta para promover medidas de ahorro y eficiencia energética en edificios. Propone realizar a los estados miembro un listado de proveedores de servicios energéticos cualificados o certificados, modelos de contratos de rendimiento energético para el sector público, incluyendo aspectos relativos a la medida y verificación de ahorros, la difusión de información sobre contratos de servicios energéticos y sobre instrumentos financieros, subvenciones y préstamos y el apoyo al sector público en ofertas de servicios energéticos, especialmente en lo referente a la reforma energética de edificios.

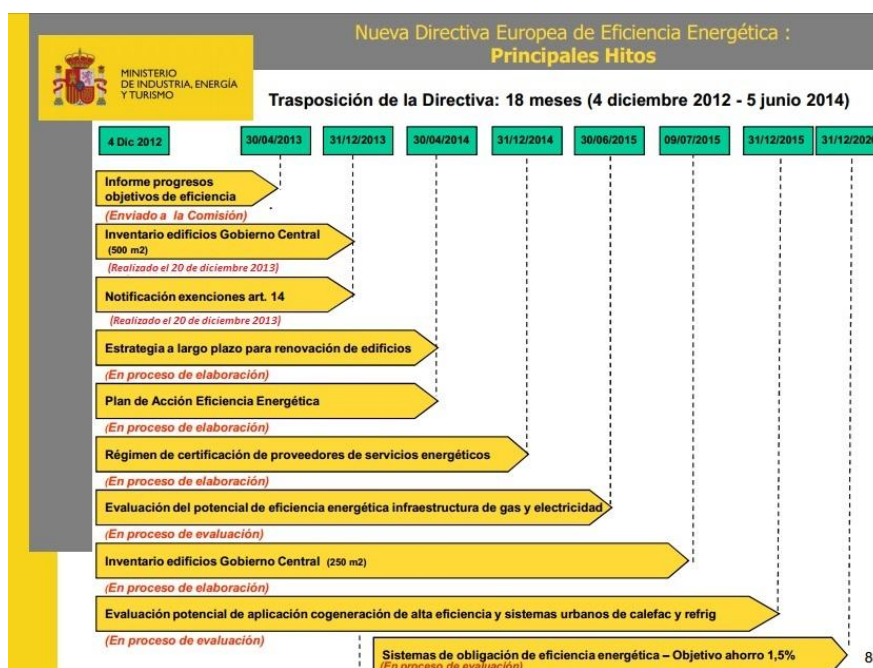


Figura I.10.- Principales hitos de la Directiva 2012/27/UE.

### I.2.9.Ley 8/2013 de Rehabilitación, Regeneración y Renovación Urbana

El artículo 4 de la directiva Directiva 2012/27/UE sirve como marco de la estrategia para la rehabilitación energética en el sector de la edificación en España, y se materializa a través de la Ley 8/2013 de Rehabilitación, Regeneración y Renovación Urbana (abril 2013), que se enmarca dentro del Plan De Vivienda 2013-2016, y que obliga a disponer de un Informe de Evaluación de Edificios, para edificios de antigüedad superior a 50 años (21% del parque edificatorio residencial), y para aquellos que pretendan acogerse a ayudas públicas con motivo de acometer obras de conservación, accesibilidad o eficiencia energética. El informe, además

de evaluar el estado de conservación de los edificios, aporta información acerca del grado de cumplimiento de la normativa vigente en materia de accesibilidad, e incluirá la Certificación Energética de Edificios.

Se establecen mecanismos que permitirán poner en práctica desde las operaciones más sencillas, que afectan a la rehabilitación de un edificio, a las más completas, que van desde la regeneración de tejidos urbanos ya existentes a la reurbanización de zonas más amplias dentro de las ciudades.

### **I.2.10. Real Decreto 235/2013 sobre Certificación Energética de Edificios Existentes**

Mediante el Real Decreto 235/2013 de 5 de abril por el que se aprueba el procedimiento básico para la certificación de la eficiencia energética de los edificios, se transpone parcialmente la Directiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 19 de mayo de 2010, en lo relativo a la certificación de eficiencia energética de edificios, refundiendo y derogando el Real Decreto 47/2007, de 19 de enero, con la incorporación del Procedimiento básico para la certificación de eficiencia energética de edificios existentes.

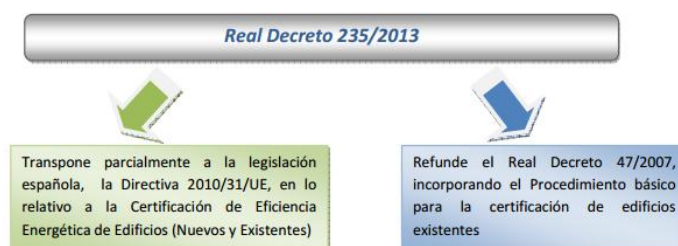


Figura I.11.- Esquema de antecedentes normativos de RD 235/2013.

Establece además que todos los edificios nuevos que se construyan a partir del 31 de diciembre de 2020 serán edificios de consumo de energía casi nulo (en 2018, en caso de edificios que vayan a estar ocupados y sean de titularidad pública). Los requisitos mínimos que deberán satisfacer esos edificios serán los que en su momento se determinen en el Código Técnico de la Edificación.

El real decreto obliga, a partir del 1 de junio de 2013, en nuevas construcciones, ventas o alquileres en edificios o unidades de éstos, a que el certificado de eficiencia energética o una copia de éste deben ser mostrados al comprador o nuevo arrendatario y se entregará al comprador o nuevo arrendatario.

El promotor o propietario del edificio o de parte del mismo, ya sea de nueva construcción o existente, será el responsable de encargar la realización de la certificación de eficiencia energética del edificio, o de su parte, en los casos que venga obligado por este real decreto. También será responsable de conservar la correspondiente documentación. Deberá presentarlo, en su caso, al órgano competente de la Comunidad Autónoma en materia de certificación energética de edificios, para el registro de estas certificaciones en su ámbito territorial, y guardar copia en el Libro del edificio, en caso de ser éste de aplicación, o custodiarlo en su poder.

Para las unidades de un edificio, como viviendas, o para los locales destinados a uso independiente o de titularidad jurídica diferente, situados en un mismo edificio, la certificación de eficiencia energética se basará, como mínimo, en una certificación única de todo el edificio o alternativamente en la de una o varias viviendas o locales representativos del mismo edificio, con las mismas características energéticas.

Los locales destinados a uso independiente que no estén definidos en el proyecto del edificio, para ser utilizados posteriormente, se deben certificar antes de la apertura del local. En el caso de que el uso del local tenga carácter industrial no será obligatoria la certificación.

La certificación de viviendas unifamiliares podrá basarse en la evaluación de otro edificio representativo de diseño y tamaño similares y con una eficiencia energética real similar, si el técnico competente que expide el certificado de eficiencia energética puede garantizar tal correspondencia.

El certificado de eficiencia energética contendrá:

- Datos de identificación del edificio y del técnico certificador.
- Indicación del procedimiento reconocido utilizado.
- Referencia de normativa de eficiencia energética vigente en el momento de su construcción.
- Descripción de las características energéticas del edificio.
- Calificación expresada mediante la etiqueta de eficiencia energética.
- Documento de recomendaciones técnicamente viables para la mejora de los niveles óptimos o rentables de la eficiencia energética del edificio o parte de éste.

- Descripción de las pruebas y comprobaciones llevadas a cabo.
- Cumplimiento de los requisitos medioambientales exigidos a las instalaciones térmicas.

### **Certificado de eficiencia energética en edificios de nueva construcción**

El proceso de certificación en estos casos consta de dos fases:

- El certificado de proyecto, redactado por el autor del proyecto, y que quedará incorporado al proyecto de ejecución o de sus instalaciones térmicas. El programa informático que se emplea para la opción general, es CALENER VYP o CALENER GT, según la tipología del edificio. Para la opción simplificada se podrán usar las aplicaciones CERMA y CE2.
- El certificado de edificio terminado, redactado por la dirección facultativa, expresará que el edificio ha sido ejecutado de acuerdo con lo establecido en el proyecto de ejecución y en consecuencia se alcanza la calificación indicada en el certificado de eficiencia energética del proyecto. Cuando no se alcance tal calificación, en un sentido u otro, se modificará el certificado de eficiencia energética inicial del proyecto en el sentido que proceda.

### **Certificado de eficiencia energética en edificios existentes**

El certificado de eficiencia energética de un edificio existente será realizado por técnico competente. En el proceso de certificación energética el técnico competente podrá contar con la colaboración de técnicos ayudantes del proceso de certificación energética de edificios, tanto para la toma de datos, como el empleo de herramientas y programas informáticos reconocidos para la calificación energética, etc.

Los programas informáticos que se emplean para obtener la certificación son: CALENER GT y CALENER VYP, para la opción general, y CE3, CE3X y CERMA para la simplificada.

### **Control de los certificados de eficiencia energética**

El órgano competente de la Comunidad Autónoma en materia de certificación energética de edificios establecerá y aplicará un sistema de control independiente de los certificados de eficiencia energética. El control se realizará sobre una selección al azar de al menos una proporción estadísticamente significativa de los certificados de eficiencia energética expedidos anualmente y comprenderá la comprobaciones de datos generales, o

bien comprobaciones completas tanto de la información, como del resultado y la recomendaciones, incluyendo la inspección al edificio.

La ejecución del control se realizará por el órgano competente de la Comunidad Autónoma que podrá delegar esta responsabilidad en agentes independientes autorizados para este fin: organismos o entidades de control que cumplan los requisitos técnicos establecidos en el Real Decreto 410/2010, de 31 de marzo, para el ejercicio de su actividad en el campo reglamentario de la edificación, así como las entidades de control habilitadas para el campo reglamentario de las instalaciones térmicas, o técnicos competentes independientes.

Cuando la calificación de eficiencia energética resultante de este control externo sea diferente a la obtenida inicialmente, como resultado de diferencias con las especificaciones previstas, se le comunicará al promotor o propietario, en su caso, las razones que la motivan y un plazo determinado para su subsanación o presentación de alegaciones en caso de discrepancia, antes de proceder, en su caso, a la modificación de la calificación obtenida.

#### **Validez, renovación y actualización del certificado de eficiencia energética**

El certificado de eficiencia energética tendrá una validez máxima de diez años, estableciendo el órgano competente de la Comunidad Autónoma en materia de certificación energética, las condiciones específicas para proceder a su renovación o actualización, siendo ésta responsabilidad directa del propietario.

El propietario podrá proceder voluntariamente a su actualización, cuando considere que existen variaciones en aspectos del edificio que puedan modificar el certificado de eficiencia energética.

#### **Situación actual**

Pasado un año de su entrada en vigor, en verano de 2014, si bien se esperaba que afectase a más de 2.000.000 de viviendas en total, tan sólo han sido certificadas el 6% de las viviendas existentes, obteniendo el 85% de las mismas una calificación energética E o inferior, según estadísticas oficiales.

#### **I.2.11. Real Decreto 238/2013 que modifica el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE)**

El 13 de abril de 2013 se publicó en el BOE el Real Decreto 238/2013, de 5 de abril, por el que se modifican determinados artículos e instrucciones técnicas del Reglamento de

Instalaciones Térmicas en los Edificios, aprobado por el Real Decreto 1027/2007, de 20 de julio.

Las modificaciones establecidas tienen la doble finalidad de incorporar a nuestro ordenamiento jurídico las obligaciones derivadas de la Directiva 2010/31/UE, en lo relativo a instalaciones térmicas de los edificios, y de actualizar el vigente Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE), adaptándolo a las nuevas necesidades de ahorro y eficiencia energética.

Las principales modificaciones que incorpora son:

- Se amplía, en el ámbito de aplicación del RITE, el concepto de reforma, incluyendo como tal, la ampliación del número de equipos de generadores de calor o frío, así como la sustitución o reposición de un generador de calor o frío por otro de similares características, aunque ello no suponga una modificación del proyecto o memoria técnica.
- Determina la obligación de la disposición de marcado CE en todos los productos que se incorporen en la instalación térmica, con independencia del cambio efectuado, sea considerado o no reforma.
- Aclara la obligación de señalar las intervenciones realizadas en las instalaciones térmicas en el Libro del Edificio, cuando el mismo exista.
- Establece la obligatoriedad de tener Certificado Anual de Mantenimiento, en aquellos casos en que sea obligatorio suscribir contrato de mantenimiento.
- Determina el personal cualificado para llevar a cabo las inspecciones reglamentarias establecidas en el RITE, estableciendo que periódicamente los órganos competentes de las Comunidades Autónomas pondrán a disposición del público listados actualizados de expertos cualificados o acreditados o de empresas o entidades acreditadas. Asimismo, el titular de la instalación podrá elegir libremente entre los habilitados para realizar las funciones de inspección.
- Amplía los requisitos necesarios para el ejercicio de la actividad profesional de instalador o mantenedor teniendo en cuenta los recientes requisitos reglamentarios derivados de la manipulación de gases fluorados.

- Finalmente modifica diversas Instrucciones Técnicas establecidas en el RITE. Concretamente, las instrucciones modificadas son:
  - o La IT 1.1. “Exigencia de bienestar e higiene”.
  - o La IT 1.2 “Exigencia de eficiencia energética”.
  - o La IT 1.3. “Exigencia de seguridad”.
  - o La IT 3.3 “Programa de mantenimiento preventivo de las instalaciones térmicas”.
  - o La IT 4.2. “Inspecciones periódicas de eficiencia energética”.
  - o La IT 4.3. “Periodicidad de las inspecciones de eficiencia energética”.

#### **I.2.12. Orden FOM/1635/2013 que actualiza el Documento Básico DB-HE «Ahorro de Energía», del Código Técnico de la Edificación (CTE)**

Aunque la orden fue publicada el 13 de Septiembre de 2013, no entró en vigor hasta el 13 de marzo de 2014.

El objetivo del nuevo documento básico es hacer más restrictivos los requisitos de energía de edificios, con la intención de avanzar en la línea de conseguir edificios de consumo de energía casi nulo, y así cumplir con la Directiva Europea de Eficiencia Energética de Edificios, Directiva 2010/31/UE EPBD recast, donde se indica que en el año 2018 todos los edificios de titularidad pública deben de ser de consumo de energía “casi cero” y en el 2020 los edificios nuevos de titularidad privada.

Las principales novedades son:

- Introducción un nuevo documento básico, Ahorro de Energía DB-HE 0, que limita el consumo de energía del edificio, tanto para equipos como para iluminación.
- Desaparición de los procedimientos simplificados habituales de cálculo, pues habrá que cuantificar y demostrar que tanto la demanda como el consumo de energía del edificio se encuentran por debajo de las exigencias. Sin embargo permanecen los programas informáticos LÍDER y CALENER, y la tendencia es que los programas CE3 y CE3X, que sirven tanto para calcular la demanda como el certificado energético, sean de mayor uso.



- Aumento de las exigencias de la envolvente térmica, provocando que los espesores de aislamiento tendrán que aumentar considerablemente, incluso hasta duplicar o triplicar su medida en algunos casos.

### **Ámbito de aplicación**

Será aplicable a proyectos que soliciten la licencia de obras a partir de éste 13 de marzo, como son obras de planta nueva, reformas o ampliaciones de edificios existentes, con criterios de “no empeoramiento” y de “flexibilidad”, para adecuarse a las nuevas exigencias del DB-HE en materia de eficiencia energética.

### **Nuevo Documentos DB-HE 0 Limitación del consumo energético**

Se debe justificar el consumo de energía primaria no renovable destinado a agua caliente sanitaria (ACS), iluminación (terciario) y equipos de climatización, en función de la superficie útil, de la zona climática y el uso. Se establece una limitación del consumo en kwh según la zona climática en invierno. La calificación energética para el consumo de energía deberá ser como mínimo B para otros usos (edificios no residenciales), tanto en proyecto como en finalización de obra.

### **Documento Básico HE1 Limitación de la demanda energética**

Disminuyen las limitaciones de aplicación para edificios existentes, ya que se deberá aplicar en ampliaciones, reformas y cambios de uso, sin hacer referencia a la superficie afectada.

Aparecen nuevos valores límite para la transmitancia térmica en función de la zona climática (aparece una nueva para Canarias) y se establece una limitación para la demanda energética, para calefacción y refrigeración.

Se pueden utilizar dos tipos de procedimiento de cálculo, simulación mediante modelo térmico o método simplificado equivalente. Desaparece la referencia explícita al programa informático LÍDER y el cálculo mediante los métodos simplificados. Sin embargo, la Dirección General de Arquitectura, Vivienda y Suelo indica que “aún entrando en vigor las nuevas exigencias el 13 de de marzo, durante un período de 9 meses a partir de dicha fecha, será posible la utilización de las herramientas existentes, oficiales o reconocidas, bajo determinadas condiciones que serán publicadas oficialmente”.

**Documento Básico HE 3 Eficiencia energética de las instalaciones de iluminación**

Cambian y se endurecen los valores límite de eficiencia energética de la instalación y se fija un límite para la potencia instalada por metro cuadrado destinada a iluminación del edificio, en función del uso.

Deberá existir una memoria justificativa con la potencia total de instalación, la superficie total iluminada y  $W/m^2$  totales del edificio.

**Documento Básico HE 4 Contribución solar mínima de agua caliente sanitaria.**

Se aplica a partir de demandas de ACS superiores a 50 l/d. Además, la contribución solar no depende de la fuente de energía de la instalación de apoyo (efecto Joule) y en las tablas de demanda se unifica el uso en vivienda con 28 l/d persona.

**Documento Básico HE5 Contribución fotovoltaica mínima de energía eléctrica.**

Se aplica a edificios nuevos, reformas integrales o ampliaciones de más de 5.000 m<sup>2</sup> construidos. No se diferencia por usos y quedan exentos edificios protegidos. Además cambia la cuantificación de la exigencia y se define un mecanismo de cálculo estimado para obtener la energía en KWh.

**I.2.13. Real Decreto Ley 8/2014 de Aprobación de Medidas Urgentes para el Crecimiento, la Competitividad y la Eficiencia**

En Julio de 2014, se publica en el BOE el Real Decreto Ley 8/2014 de aprobación de medidas urgentes para el crecimiento, la competitividad y la eficiencia. Aunque España votó en contra de la Directiva Europea 2012/27/UE de eficiencia energética, debía de hacer una transposición real de las obligaciones concretas y de las recomendaciones antes de junio de 2014.

Según este Real Decreto, en materia de eficiencia energética en edificios, una de las principales medidas que se adoptan, es la de la obligación de instalar contadores de consumo individuales para el suministro de calefacción, refrigeración o agua caliente sanitaria a partir de una calefacción urbana o de una fuente central que abastezca a varios edificios, antes del 1 de enero de 2017.

Asimismo, a la vista de los riesgos que implica la ejecución y gestión de proyectos de ahorro y eficiencia energética, en particular en el sector industrial y en el sector edificación, se considera necesaria la suscripción de un seguro de responsabilidad civil que cubra los

riesgos derivados de dichas actuaciones por parte de los proveedores de servicios energéticos y otros sujetos que en el futuro puedan operar dentro del marco del sistema de obligaciones.

Otra novedad de este documento es que crea un sistema nacional de obligaciones nacionales de eficiencia energética, mediante el cual se obliga a las empresas comercializadoras de gas y electricidad, entre otras, a soportar una cuota anual de ahorro energético y al cumplimiento de unas obligaciones y certificados de ahorro de energía.

Además, se crea el Fondo Nacional de Eficiencia Energética, cuya finalidad será financiar las iniciativas nacionales de eficiencia energética, con más de 350 millones de euros.

#### **I.2.14. Conclusiones de normativa y eficiencia energética actual en España**

Como conclusión, podemos dar algunos datos del Informe del Grupo de Trabajo de Rehabilitación Energética GTR 2014 [w-1]:

- España tiene una dependencia energética del 76%
- Con la rehabilitación de 10 millones de viviendas se podrían generar más de 150.000 empleos y llegar a mover entre 2.000 y 10.000 millones de euros anuales
- Las empresas españolas podrían reducir hasta en un 50% su consumo energético.

Este año 2014 ha sido un año fundamental en el desarrollo de la eficiencia energética de nuestros edificios, especialmente desde el punto de vista normativo.

Sin embargo, aún no se ha traducido en una mayor repercusión desde el punto de vista técnico y constructivo.

### **I.3. ESTADO NORMATIVO Y METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN ENERGÉTICA EN LOS EDIFICIOS EN OTROS PAÍSES**

Se procede en este apartado a la descripción del estado de la normativa y certificación energética en distintos países de relevancia en el mundo. Esta información puede ser consultada de forma más detallada y ampliada en el anexo I de esta tesis.

#### **I.3.1. Normativa y códigos técnicos energéticos de edificación**

##### **Introducción**

La normativa o códigos técnicos de la energía en edificación son los instrumentos usados por los gobiernos para reducir el consumo energético de los edificios. Estos códigos

consisten en un conjunto de requisitos mínimos de eficiencia energética obligatorio destinado a regular el uso de energía en los edificios. Abarcan tanto a edificios nuevos como edificios existentes sometidos a renovación o alteración. Los arquitectos e ingenieros utilizan los requerimientos energéticos funcionales establecidos en los códigos de construcción en sus aspectos relacionados con energía para diseñar edificios que cumplen con los estándares requeridos.

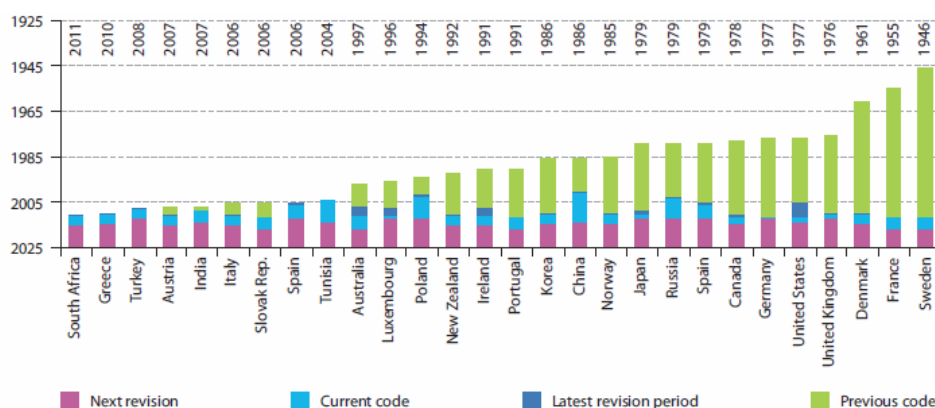


Figura I.12.- Progreso en la implementación de códigos energéticos en la construcción en países de la IEA, BRICS y Túnez.

### Códigos en continua evolución

El ámbito de los códigos energéticos en construcción ha evolucionado tanto en términos del tipo de edificios que cubren, como geográficamente. Inicialmente, su alcance incluía sólo los nuevos edificios residenciales. Posteriormente, se amplió para incluir nuevas, edificios no residenciales. Más recientemente, su alcance se ha ampliado para cubrir los edificios existentes cuando se someten a renovación o modificación, así como cuando se procede a su venta o alquiler.

Hoy en día, los códigos se aplican para los edificios nuevos y existentes, residenciales y no residenciales, ya sea de forma obligatoria, de forma voluntaria o una combinación de ambas (aplicación mixta). Sin embargo, la aplicación de los códigos de forma obligatoria es probable que sea la única forma eficaz de lograr los cambios deseados. Las figuras I.13, I.14, I.15 y I.16 muestran el uso de estos diferentes enfoques de todo el mundo para los nuevos edificios residenciales, edificios de viviendas existentes, los nuevos edificios no residenciales y los edificios no residenciales existentes.

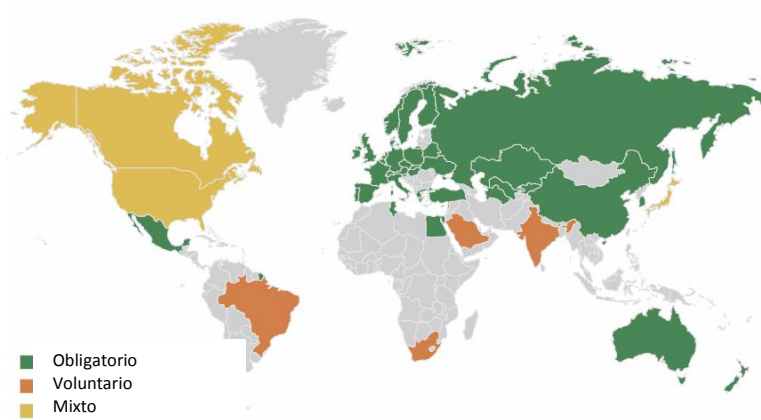


Figura I.13.- Uso mundial de códigos energéticos de edificación en nuevos edificios residenciales.

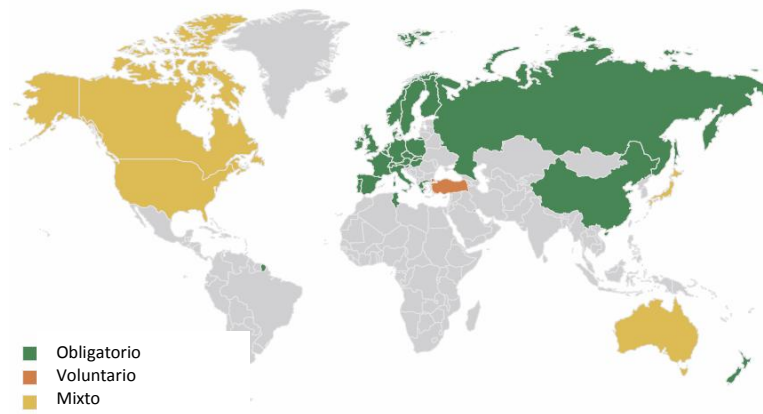


Figura I.14.- Uso mundial de códigos energéticos de edificación en edificios existentes residenciales.

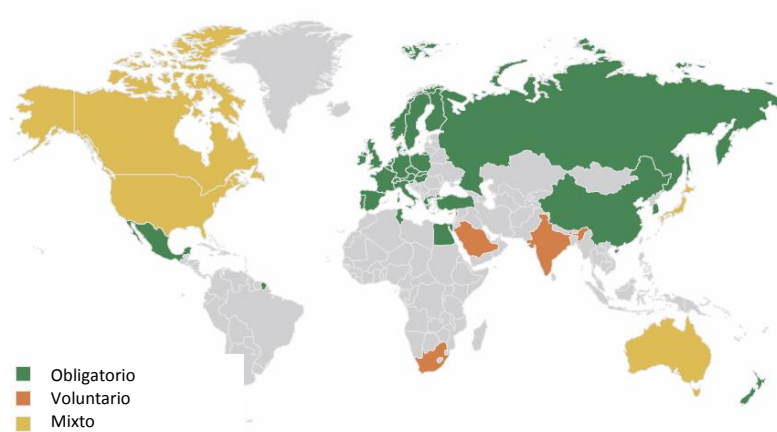


Figura I.15.- Uso mundial de códigos energéticos de edificación en edificios nuevos no residenciales.

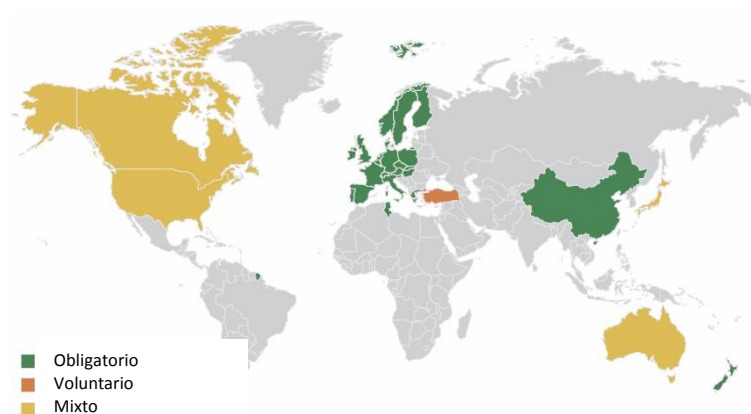


Figura I.16.- Uso mundial de códigos energéticos de edificación en edificios existentes no residenciales.

### Clasificación de eficiencia energética global en distintos países del mundo

Alemania lidera la clasificación de eficiencia energética (en general, no sólo de edificios) de las principales economías del mundo, seguida por Italia, la Unión Europea en su conjunto, China y Francia, según un informe elaborado por la organización sin ánimo de lucro ACEEE (American Council for an Energy-Efficient Economy) [w-2] y publicado el 17 de Julio de 2.014 en Washington. España ocupa la octava posición.



Figura I.17.-Clasificación energética en el mundo.

El informe de ACEEE evalúa el consumo de energía en las primeras 16 economías del mundo, que representan el 81% del PIB mundial y el 71% del consumo de energía. Los países evaluados por ACEEE han quedado, en orden:

- 1º Alemania
- 2º Italia
- 3º La Unión Europea en su conjunto
- 4º China y Francia empatados
- 6º Japón

- 7º Reino Unido
- 8º España
- 9º Canadá
- 10º Australia
- 11º India
- 12º Corea del Sur
- 13º Estados Unidos
- 14º Rusia
- 15º Brasil
- 16º México

La ACEEE utiliza 31 indicadores distribuidos en cuatro grupos para realizar el análisis:

- Indicadores sobre aspectos intersectoriales de la utilización de energía a nivel nacional (como relación agua-energía o etiquetado energético)
- Los tres sectores principales responsables de consumo de energía en un país desarrollado económicamente:
  - Edificios.
  - Industria.
  - Transporte.

Los países con mayor puntuación en cada grupo son:

- Esfuerzos nacionales: EEUU, Francia, e Italia (triple empate).
- Edificios: China.
- Industria: Alemania.
- Transportes: Italia.

Aporta datos tan llamativos como que países como China, Canadá e India son más eficientes en el uso de la energía que Estados Unidos.

### **I.3.2. Metodología de evaluación energética en edificios**

Los métodos de evaluación de eficiencia energética de edificios suelen comparar demandas respecto de otros edificios.

Podemos decir que la eficiencia energética de un determinado edificio se calcula por comparación de su comportamiento en relación a otros situados en la misma localidad, del mismo sector edificatorio (residencial, hoteles, oficinas,...) y con características análogas, tales como compacidad o características ocupacionales y funcionales.

En la actualidad existen diversos sistemas de certificación energética funcionando tanto en los países europeos como en los Estados Unidos, existiendo diferencias entre los esquemas seguidos en cada caso.

La clasificación general de los sistemas de certificación se puede realizar en función de los siguientes aspectos:

- Tipos de edificios evaluados.
- Sectores edificatorios evaluados.
- Método de cálculo empleado para la obtención del consumo.
- Usos energéticos evaluados.
- Criterios para la evaluación del edificio.
- Resultados aportados.
- País de aplicación.
- Carácter obligatorio o voluntario del mismo.
- Enfoque de la certificación, como se vio en el punto anterior.

Los tipos de edificios evaluados pueden ser nuevos o existentes.

#### **Edificios nuevos**

En los edificios de nueva construcción, el consumo energético se calcula de forma teórica, estimando las condiciones ocupacionales y funcionales del edificio, así como las características de los sistemas energéticos (climatización, iluminación, agua caliente sanitaria,...).



En este caso toda la información técnica del edificio, en cuanto a materiales, diseño, sistemas,..., necesaria para la certificación energética, se puede obtener fácilmente a partir del proyecto constructivo.

### **Edificios existentes**

La certificación de un edificio existente deberá tener en cuenta los actuales niveles de consumo, que dependerán no sólo de las características constructivas del edificio definidas en el proyecto constructivo inicial en el que se describen las propiedades que definen la calidad térmica de la envolvente, la compacidad, la orientación y los elementos de sombra que conforman el edificio, sino de las características ocupacionales y funcionales reales del edificio, además de otros aspectos, como son la operación y el mantenimiento de los sistemas de climatización e iluminación existentes.

La recopilación de la información técnica necesaria para realizar la certificación, supondrá un mayor coste en el caso de los edificios existentes, ya que deberá realizarse una inspección en campo para obtenerla, pues generalmente los propietarios de los edificios no disponen de esta información técnica. La cantidad de información necesaria depende del grado de detalle con el que se defina el sistema de certificación, pudiendo necesitar en ocasiones incluso ensayos destructivos en el edificio, como perforaciones en muros y forjados para determinar el tipo de aislamiento.

Aun disponiendo del proyecto constructivo original del edificio, suelen ser antiguos y no suelen presentar un elevado grado de detalle de los elementos constructivos utilizados. Además, en muchos casos pueden haber existido cambios importantes del proyecto original a lo realmente edificado o posteriores modificaciones para intentar resolver los problemas existentes en los edificios, como filtraciones, humedades, falta de confort térmico,...

En España, por ejemplo, hay que tener en cuenta que en la mayoría de estos edificios los materiales utilizados para su construcción son materiales que no cumplen el CTE actual, dada su antigüedad, y que las instalaciones cuentan años de utilización, lo que conlleva el desgaste de las mismas y la disminución de su rendimiento. Esto es tenido en cuenta en métodos de certificación como CE3 basado en la descripción general del edificio.

Los métodos de cálculo empleados para los modelos de certificación, por tanto, pueden responder a distintos objetivos como son:

- Estimación de necesidades energéticas del edificio.

- Normalización/corrección del consumo energético medio del edificio en función del clima y del uso para poder compararlo con un comportamiento energético estimado, de diseño o histórico (vía estadística).
- Estimación de potenciales de ahorro energético asociado a propuestas de mejora.

En función de cómo se obtenga el valor de la variable, los métodos se clasifican en dos grandes grupos:

- Métodos de medidas: procedimientos basados en medidas tomadas de contadores energéticos. Mediante un análisis estadístico de estos resultados de medida simultánea de consumos energéticos y parámetros de control, se deduce la calificación en función del comportamiento energético del edificio.
- Métodos analíticos: modelos dinámicos de simulación, en los que el consumo es obtenido mediante un modelo teórico. En función de variables de diseño y de las características de los sistemas energéticos, se calcula el consumo energético. Además, se puede normalizar el consumo usando las características climáticas establecidas por la norma.

Por otro lado, los métodos difieren de un país a otro en función del grado de evolución y estudio sobre el consumo energético del parque edificatorio, así como de las prioridades nacionales.

Los sistemas de certificación existentes pueden evaluar, a su vez, usos energéticos diferentes. Existe la posibilidad de evaluar los consumos de calefacción, refrigeración, iluminación, agua caliente sanitaria, electrodomésticos, equipos de oficina,...

En cuanto a los resultados que se pueden calcular en los distintos esquemas de certificación existentes, se pueden resumir los siguientes:

- Consumo de energía final.
- Demanda de energía.
- Consumo de energía primaria.
- Coste energético.

En algunos esquemas se calculan otros datos adicionales como son las emisiones de CO<sub>2</sub>, otras emisiones (SO<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub>) y consumo de agua.

### I.3.3. Certificación energética en Europa

La transposición formal de la EPBD (2010/91/UE) [16], incluidos los requisitos relativos a la certificación de eficiencia energética, se ha finalizado en la mayoría de los estados miembros (véase la figura I.18). El proceso de transposición se retrasó en relación con el plazo oficial establecido en EPBD recast (los estados miembros tenían 2 años para la transposición formal de los requisitos de la Directiva EPBD en la legislación nacional).

El nivel de ejecución de la EPBD en los estados miembros varía de un país a otro y depende en gran medida del punto de partida, los contextos políticos y jurídicos, las capacidades disponibles para apoyar la aplicación, así como las características del mercado inmobiliario.

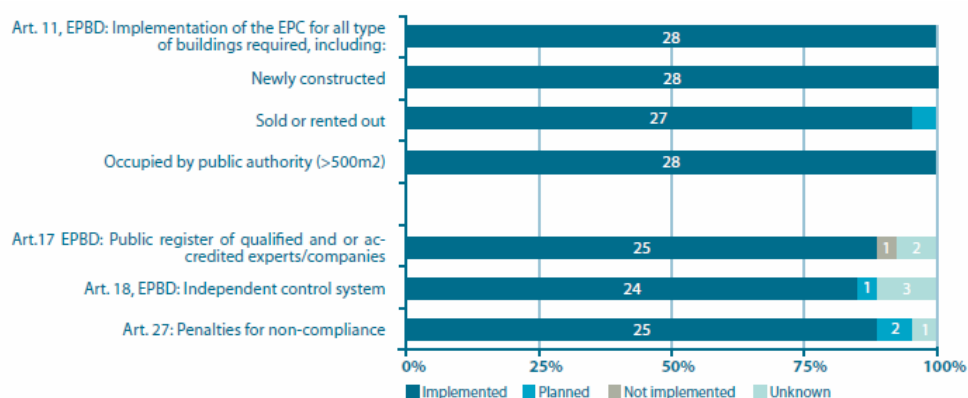


Figura I.18. - Transposición formal de los requisitos de la EPBD (2010/31/UE) en Europa.

Todos los estados miembros de la UE han establecido reglas para la formación y acreditación de los certificadores energéticos. Sin embargo, esos sistemas difieren en gran medida en términos de los requisitos mínimos de educación básica y experiencia profesional, programas de capacitación, acreditación y procedimientos de control (ver figura I.19.). Un examen obligatorio es la práctica más común para verificar las competencias de los certificadores en el proceso de acreditación. Los exámenes, así como los programas de formación (obligatorios o voluntarios), se llevan a cabo normalmente por organismos externos aprobados que están obligados a seguir las prescripciones de las autoridades a este respecto. En España, sin embargo, la cualificación para certificar energéticamente edificios se adquiere por titulación, no existiendo exámenes ni formación complementaria necesaria.

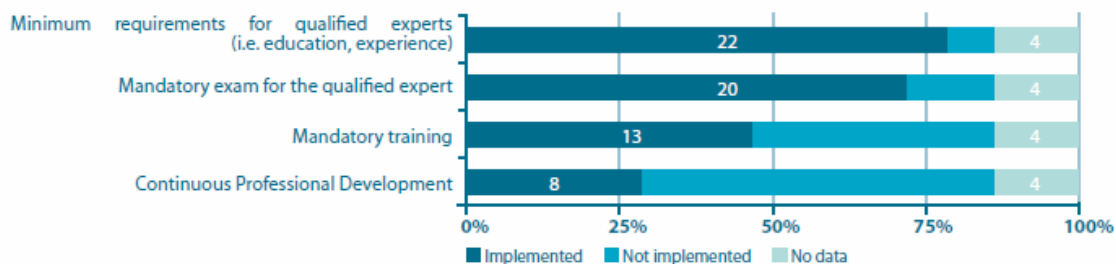


Figura I.19. - Requerimientos para expertos cualificados y/o acreditados (personas físicas) en Europa.

Aunque la transposición formal del artículo 18 de la EPBD a la legislación nacional ha sido finalizado en casi todos los estados miembros, la aplicación y uso de certificados de eficiencia energética está todavía en curso en muchos miembros de la UE. En algunos de los países, el sistema independiente para el control de calidad de la certificación no se ha establecido todavía. En España, el control de calidad se realiza de forma regional, dependiendo pues de cada región el seguimiento realizado.

El diseño de los sistemas de control sigue los requisitos y recomendaciones de la EPBD, pero difiere de un país a otro con respecto al tamaño de la muestra estadísticamente significativa de las certificaciones emitidas y el método de verificación. Si bien la sencilla comprobación de los datos de entrada y los resultados son una práctica común en todos los estados miembros, el re-cálculo del certificado o calificación es poco habitual y se realiza sólo en algunos países.

En casi todos los estados miembros, las sanciones por incumplimiento de la EPBD se han incorporado a la legislación nacional (en 12 países se pueden imponer multas). Sin embargo, el nivel de cumplimiento y de imposición de multas es todavía muy bajo. Hasta la fecha, la sanción más común impuesta es de carácter administrativo, como una advertencia formal, recertificación o suspensión de la licencia de la agencia certificadora. La falta de aplicación del régimen sancionador puede diluir considerablemente la calidad, la credibilidad y la utilidad de los esquemas de certificación energética.

En 19 de los 28 Estados miembros, sólo softwares aprobados oficialmente pueden ser utilizados para el cálculo del certificado energético (EPC). En otros estados miembros es válido cualquier software que, en principio, siga la metodología de cálculo con criterios nacionales (pero no están verificados oficialmente).

No todos los estados miembros exigen la presencia física in situ del certificador para recopilar la información técnica necesaria para emitir el EPC (para los edificios existentes). La

inspección in situ aporta una mayor seguridad de la calidad del EPC emitido y permite que las recomendaciones hechas para posibles mejoras sean más eficaces, lo que no es posible en EPCs emitidos en base a la información proporcionada por el propietario del edificio. Por otro lado, la emisión de un EPC de esta última manera puede ser más barato.

Aunque no es requerido formalmente por la EPBD, todos los estados miembros han considerado necesaria la creación de registros de EPCs (bases de datos). En la mayoría de los países existe un sistema centralizado de recogida de datos a nivel nacional. En otros los sistemas son regionales de acuerdo con la organización administrativa específica del país. La falta de orientación sobre el diseño y la implementación del registro EPC dio lugar a una gran variedad de datos disponibles en los registros de EPC en toda Europa. Las principales diferencias están relacionadas con el tipo de datos recogidos, el formato de adquisición de datos y el almacenamiento y gestión de datos, incluida la carga y el intercambio.

En 15 de los 28 Estados miembros, la base de datos EPC es un elemento central para el sistema de control de calidad, el apoyo a un muestreo aleatorio y la primera fase de verificación de datos (es decir, control de plausibilidad de los datos de entrada). En 11 países, se requiere la carga obligatoria del EPC como condición para su aprobación oficial. En algunos estados miembros, se ha desarrollado un protocolo de datos digital para permitir una transferencia fácil y automática de los datos entre el software de cálculo y la base de datos EPC.

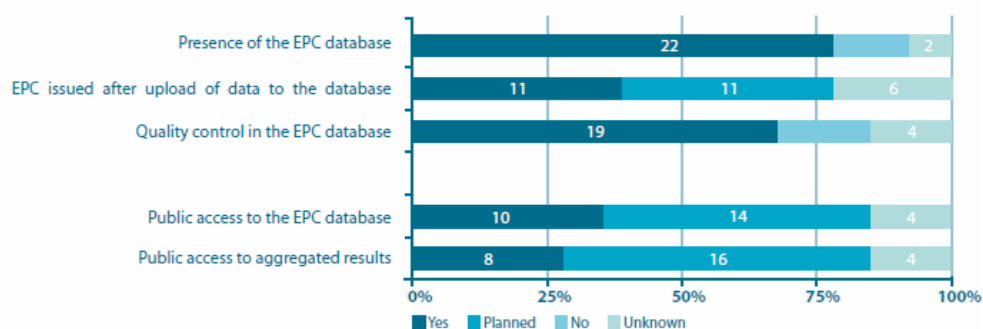


Figura I.20. – Registros de EPCs en Europa.

Los datos EPC están a disposición del público (con respeto a la protección de datos privados), bien por acceso directo a la base de datos de EPC en 10 estados miembros de la UE, o por medio de informes estadísticos con resultados agregados en 8 estados miembros de la UE. En algunos países, se proporciona acceso directo a la base de datos EPC después de la

autorización a hacerlo por parte de algunas organizaciones (por ejemplo, agencias gubernamentales, etc.).

En la actualidad hay entre 5 y 12 años de experiencia en la implementación de la certificación de eficiencia energética en Europa y una elevada experiencia adquirida debido a la primera EPBD. La EPBD recast introdujo una serie de nuevos requisitos (por ejemplo, controles de calidad, sistema de penalización, de promoción de los EPCs en el mercado y los anuncios de venta, etc.) que, una vez implementado plenamente a nivel nacional, puede ofrecer una mejora significativa. Sin embargo, los planes relativos a los EPCs aún no se aplican plenamente en todos los estados miembros. Por tanto, la calidad, credibilidad y utilidad de los EPCs puede variar en gran medida entre dichos estados miembros, y todavía hay una necesidad de un mayor apoyo y de directrices para la aplicación de los regímenes de EPC a nivel nacional.

### **El certificado de eficiencia EPC en algunos países de Europa**

A continuación se muestra la fecha y modelos de certificados energéticos de edificios existentes utilizados en algunos países de la UE. Los países que ya disponían de sistemas de certificación energética previamente a la entrada en vigor de la normativa europea, han adaptado los formatos para adecuarse a la normativa comunitaria.

#### Alemania

En Alemania el certificado se denomina Energieausweis. La norma de referencia para edificación eficiente en Alemania es la *Energy Conservation Ordinance (Energieeinsparverordnung, EnEV, 2002)* que, aunque aprobada en 2002, ha ido modificándose para introducir los requerimientos de las directivas de edificación de la Unión Europea.

A diferencia de España, Alemania utiliza la escala energética HERS (RESNET), al igual que en los EEUU, Bélgica, Letonia o Polonia.

El proceso Alemán ha sido lento, desde las primeras reglamentaciones en año 1976, hasta la certificación energética, han pasado 26 años, donde han formado bases sólidas en el mercado de eficiencia energética, formado profesionales capacitados y mano de obra adecuada, materiales, etc. Han realizado numerosas investigaciones tecnológicas con el objeto de definir el estándar y han invertido con el objeto de fomentar edificaciones eficientes, a través de publicidad y marketing de proyectos pilotos.



Figura I.21. - Primeras páginas de un certificado de eficiencia energética en Alemania.

En Alemania, como ya se ha dicho, existe un certificado energético (Energypass) desde el año 2002, a través de la Ordenanza de Ahorro de energía EnEv 2002. La EnEv establece la metodología de evaluación energética y los requisitos para obtener el certificado de eficiencia energética, válido en toda Alemania y acorde a las exigencias impuestas por la Unión Europea. En la norma, se incluyen los requerimientos de máximos consumos de energía, valores límites de transmitancia térmica para elementos de la envolvente, exigencia sobre la eficiencia del sistema de calefacción, etc. La metodología de evaluación en una vivienda se basa en comparar la demanda anual estimada de energía primaria de dicha vivienda, con respecto a una línea base de referencia, establecida en función del coeficiente de forma (área de envolvente/volumen).

Para cumplir con la normativa, la demanda de la vivienda a evaluar debe ser inferior al límite establecido. Además establece las pérdidas máximas de calor por transmisión a través de la envolvente. La certificación comienza en la etapa de diseño, en donde el arquitecto, ingeniero o asesor energético calcula la demanda (consumo teórico) de energía primaria. En Alemania existen asesores energéticos (aussteller) que son acreditados por la Agencia Alemana de la Energía, DENA (Deutsche Energie – Agentur GMBH). Estos asesores pueden realizar la evaluación inicial del diseño si el cliente lo solicita.

Se encuentran dos tipos de certificados:

- Certificado de Demanda – Edificaciones Nuevas.
- Certificado de Consumo – Edificaciones Existentes.

Existen dos métodos para determinar la demanda de energía primaria:

- Método simplificado (método de balance periódico): si el porcentaje de ventanas respecto a la envolvente es menor al 30%.
- Método de balance mensual: si el porcentaje de ventanas respecto a la envolvente es mayor al 30%.

El consumo máximo permitido es 120 kWh/m<sup>2</sup>-año.

De forma similar a Alemania, se puede poner como ejemplo el caso de Austria (2008), cuyo certificado energético posee el mismo nombre: Energieausweis.

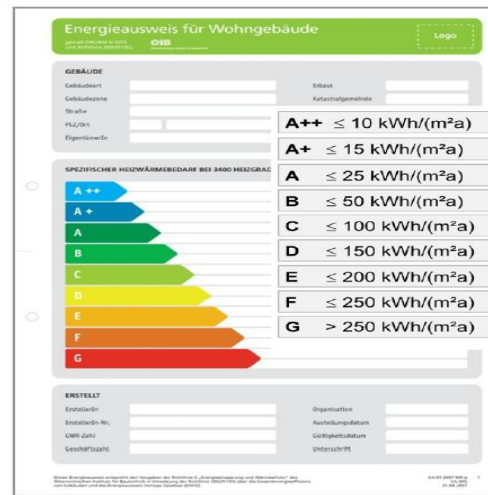


Figura I.22. - Certificado para viviendas en Austria (Energieausweis für Wohngebäude).

En la figura I.22. se puede observar el certificado tipo utilizado en Austria. Posee 9 niveles en la escala de certificación y establece el consumo anual por m<sup>2</sup> de superficie construida.

### Francia

En Francia los edificios consumen el 46% del total de la energía nacional. Desde el 1 de enero de 2011 es obligatorio mostrar la etiqueta de eficiencia energética junto con la oferta de venta o alquiler del inmueble (figura I.23).

A diferencia de España, los certificados utilizan una doble escala (la “escala energética”, que indica el consumo de energía expresado en kWh/m<sup>2</sup>-a y la “escala climática”, que muestra las emisiones de CO<sub>2</sub> en kg/m<sup>2</sup>-año).



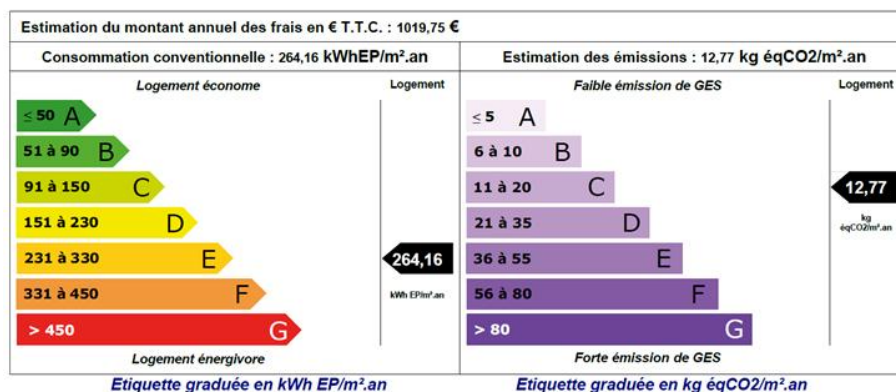


Figura I.23. – Certificado energético para viviendas en Francia.

Francia se ha unido más recientemente a la política de certificación energética y su normativa data del año 2000 (Effinergie).

Esta normativa es de obligado cumplimiento en edificios no industriales y de nueva construcción.

A la hora de realizar la clasificación existen dos métodos de cálculo, uno simplificado válido para edificios de menos de 220 m<sup>2</sup> y para personas sin conocimientos específicos en temas energéticos, y otro más complejo para realizar por profesionales del sector.

El consumo máximo permitido es de 50 kWh/m<sup>2</sup>. Establece que el consumo de energía para las instalaciones de calefacción, producción de agua caliente sanitaria, ventilación, climatización y, en determinados casos iluminación, debe ser menor que un consumo establecido como referencia, según la zona del país donde se localice el edificio.

Su certificado se denomina *Diagnostic de Performance Energétique* (DPE). Se encuentra vigente desde 2006 para la venta de edificios ya existentes y desde 2007 para el alquiler de edificios ya existentes y edificios de nueva construcción. La clasificación energética media de los edificios franceses es E (240 kWh/m<sup>2</sup>·año).

### Reino Unido e Irlanda

#### *Reino Unido*

Reino Unido es uno de los países de la Unión Europea que antes impuso el proceso de certificación energética, en el año 1995 (Energy Rating).

El certificado de eficiencia energética para edificios existentes entró en vigor en 2007. En abril de 2012 se reformó la normativa para incluir los requisitos exigidos por la Directiva

2010/31/UE y ampliar la certificación a edificios no residenciales. Las sanciones económicas van desde 500 a 5.000 libras.

Su normativa actual es aplicable a viviendas nuevas y existentes.

La clasificación en este país, recibe el nombre de SAP (The Standard Assessment Procedure), y va desde 1, que corresponde a la menor calidad energética, hasta 100. Se considera una alta calidad energética, a partir de una clasificación de 80.

El SAP se utiliza para cumplir con las normas de construcción que según la legislación actual requieren de un índice de energía en cualquier vivienda. El procedimiento de evaluación estándar generalmente refleja los costes teóricos anuales de energía por unidad de espacio, así como los costes esperados de calefacción. Consiste en un balance estático de la demanda de energía de una vivienda, dando como resultado de dicho balance las emisiones de CO<sub>2</sub> anuales.

Los procesos de certificación energética son realizados por profesionales que han recibido formación en esta materia y han debido aprobar un examen que les permite realizar este tipo de procesos.

Las emisiones de CO<sub>2</sub> se calculan en base al cálculo del TER (Target Emisión Rate), que es el índice de emisiones de CO<sub>2</sub> de la vivienda objeto respecto a la vivienda de referencia, y se expresa en kg de CO<sub>2</sub> por m<sup>2</sup> de superficie por año. En esta clasificación no se valora la localización del edificio, su climatología, ni consumos de iluminación y electrodomésticos.

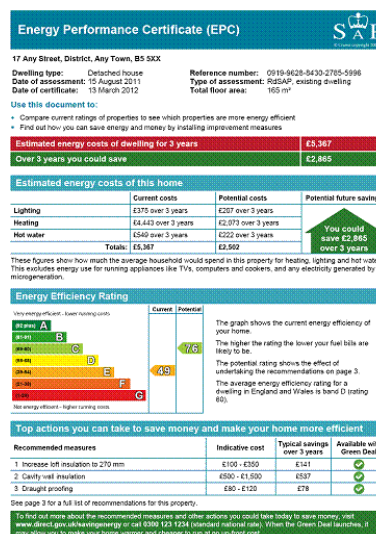


Figura I.24. - Primera página del Certificado de eficiencia energética (EPC) en Reino Unido.

Para evaluar la demanda energética se debe considerar las siguientes variables: calefacción, agua caliente, iluminación y energía utilizada en bombas y ventiladores. Se da una calificación respecto a su comportamiento energético y su impacto en el medio ambiente.

Finalmente, se entregan recomendaciones de bajo coste, menores a 500 libras y otras de mayor coste, para mejorar los estándares de eficiencia.

#### *Irlanda*

En Irlanda existe el organismo NICER (The National Irish Center for Energy Rating) para el desarrollo de una certificación energética de edificios que colabora con la Entidad para la Energía Sostenible (The Sustainable Energy Authority of Ireland, SEAI).

Se desarrolló el BER como etiqueta energética, siendo obligatoria para las construcciones a partir de 2007. El BER debe ir acompañado de un informe que debe emitir una entidad certificada por el National Framework of Qualifications (NFQ) y estar registrado en el SEAI.

En el BER (Building Energy Rating) se calcula la energía consumida por la calefacción, ACS, ventilación e iluminación, en base a una ocupación estándar.

La etiqueta tiene una escala que va desde la de A hasta la G. Las viviendas con calificaciones A son los más eficientes energéticamente.

El certificado BER es obligatorio para todas las viviendas en venta o alquiler, debiendo incluir los anuncios detalles del certificado cuando una vivienda es ofertada en venta o alquiler. También se requiere en viviendas de nueva construcción.

Hay excepciones para determinadas categorías de hogares, por ejemplo, las edificaciones protegidas.

La legislación de Irlanda en materia de eficiencia energética tiene todavía campo para desarrollarse en otras áreas como el transporte o la industria.

En cuanto a consumos, en Irlanda, desde el año 2000, la factura del gasóleo se ha incrementado en un 60%, la del gas un 55% y la de electricidad un 44%. Se espera un incremento adicional del 35-40% tomando como referencia los precios de 2006. En este contexto el certificado se ha implantado como una medida que ayude a concienciar a los

propietarios a acometer reformas en materia de aislamiento, instalación de energías renovables y renovación de las instalaciones térmicas y eléctricas.

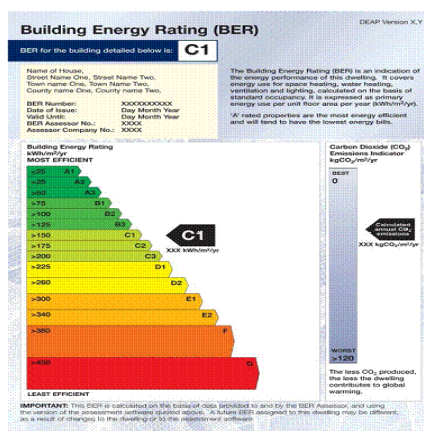


Figura I.25. - Building Energy Rating (BER) Certificado vigente en Irlanda.

Los países del Este

Los edificios que formaban parte de la antigua URSS son los que más energía por m<sup>2</sup> consumen de la UE debido a las condiciones climatológicas y a la política energética de las últimas décadas, que difiere sustancialmente de la Europa Occidental al depender en mayor porcentaje del carbón y utilizar sistemas de calefacción central.

En los siguientes países ya se encuentra vigente la certificación de edificios existentes: Bulgaria (2005), Estonia (2009), Hungría (2008), República Checa (2009), Polonia (2007), Rumania (2011), Letonia (2008), Lituania (2007) y Eslovaquia (2009).

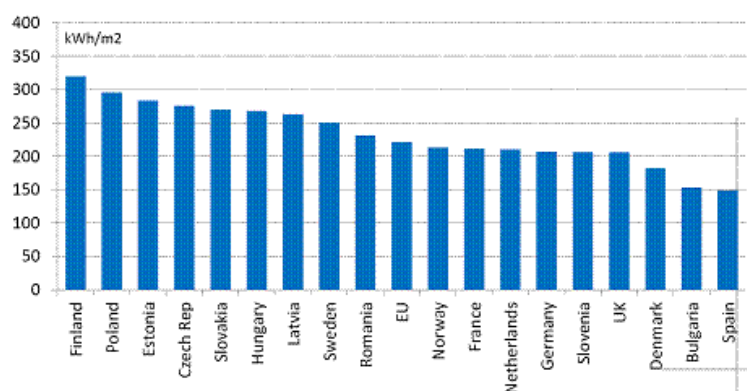


Figura I.26. - Consumo específico de energía en edificios por m<sup>2</sup>. Fuente: Odyssee.



Figura I.27. - Primera página del certificado energético vigente en Hungría.

La escala utilizada en Hungría consta de 10 niveles (de la A+ a la I).

### Dinamarca

El clima de esta región explica el alto consumo de sus edificios, concretamente en calefacción e iluminación. Aún así, se trata de un país donde la cultura del ahorro energético se ha consolidado y la calificación mínima requerida para edificios de nueva construcción es *B*.

Dinamarca es uno de los países con mayor trayectoria en la certificación energética de edificios, desde 1997 (Energimarke).

La política danesa de ahorro de energía se focaliza en un sistema de etiquetado energético de edificios. Desde 1997, este sistema es obligatorio en Dinamarca y desde comienzos de 2006 un sistema similar se trasladó a todos los países de la UE mediante la aplicación de la ya mencionada Directiva 2006/32/CEE sobre la eficiencia energética de edificios, que se basó entre otras en la experiencia danesa.

El objetivo de Dinamarca es etiquetar las viviendas antes de su venta de modo que los nuevos propietarios puedan ver el rendimiento energético de la casa para influir en la decisión de compra. El procedimiento de etiquetado también incluye recomendaciones para la mejora de la eficiencia energética de la construcción. Se trata, por tanto, de una regulación basada en el supuesto de que los consumidores bien informados conozcan las ventajas e inconvenientes de su elección.

Es de obligado cumplimiento en edificios de nueva construcción que no sean de uso industrial y para edificios existentes de menos de 1500 m<sup>2</sup>.

La clasificación energética comienza con A1, que se otorga a los edificios con máxima eficiencia energética, y va hasta C5, que correspondería a la menor eficiencia energética. Incluye información sobre el consumo energético, sobre las emisiones de CO<sub>2</sub> y sobre el consumo de agua del edificio realizando una predicción del consumo anual esperado de agua y energía.

El proceso de certificación energética comienza con una auditoría energética, que debe ser realizada por un ingeniero o un arquitecto, definido como consultor energético, y que para poder realizar este tipo de inspecciones ha de contar con 5 años de experiencia en el sector de la edificación y el ahorro energético.

En función de la superficie del edificio existe una certificación energética distinta:

- Edificios menores de 1500 m<sup>2</sup>: “Energy labelling for Small Buildings” (EM).
- Edificios mayores de 1500 m<sup>2</sup>: “Energy Management Scheme for Large Buildings” (ELO). Es obligatoria y tiene una frecuencia anual tanto del proceso de etiquetado como del plan energético del edificio. Este certificado energético está basado en la medida de consumos realizados por el propietario del edificio, que el consultor encargado de emitir las certificaciones procesa con herramientas desarrolladas para este certificado, incorporando valoraciones del impacto de distintas mejoras energética.

Ambos esquemas de certificación energética de edificios daneses incorporan tanto una valoración energética del edificio como un plan de mejoras energéticas.

Similares desarrollos al de Dinamarca se han seguido en Holanda (2008), Finlandia (2009), Noruega (2010) y Suecia (2008)

### España

En España, la certificación energética es obligatoria para edificios de nueva construcción y aquellos que sufran modificaciones de entidad, así como aquellos que sean vendidos o alquilados.



Internacional de Construcción Sostenible (*International Green Construction Code, IgCC*) [w-3], administrado por el Consejo Internacional de Codificación (*International Code Council, ICC*) [w-4], organismo que regula la construcción de edificios comerciales nuevos y remodelados. Asimismo, el Cuerpo de Ingenieros del Ejército (*Army Corp of Engineers*) adoptó la norma 189.1 de la Sociedad Estadounidense de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Climatización (*American Society of Heating, Refrigeration, and Air Conditioning Engineers, ASHRAE*) [w-5], norma que aparece como una de las opciones de cumplimiento en el código internacional IgCC publicado en 2012.

En Canadá, el Código Nacional de Energía para la Construcción (*National Energy Code for Building, NECB*) de 2011 y la norma suplementaria SB-10 “Suplemento de Eficiencia Energética” de la Asociación Canadiense de Normalización (*Canadian Standard Association’s Supplementary Standard SB-10 “Energy Efficiency Supplement”*) incluyen elementos de eficiencia energética en el diseño y la construcción.

México carece de un código de construcción con aspectos de eficiencia energética para edificios, pero se están tomando medidas encaminadas a formular y reglamentar disposiciones en esta materia. Existen, asimismo, muchas normas técnicas nacionales y otros documentos que pueden servir de base para un código de edificación sostenible con aspectos de eficiencia energética, como las normas técnicas complementarias del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal, que incluyen características de eficiencia energética. La creación de un código o norma de construcción en materia de eficiencia energética para edificios no es más que el principio de un proceso que, por encima de todo, exige un sólido sistema de cumplimiento. De hecho, es necesario reforzar el cumplimiento y la aplicación del sistema de reglamentos de construcción en general.

### **Sistemas de calificación y programas de certificación**

Los sistemas de calificación y los programas de certificación no constituyen normas y, por tanto, no tienen un carácter obligatorio, aunque se hayan impuesto en algunas administraciones. Se tratan de pautas y sistemas realizados por expertos con el propósito de definir criterios por encima de los requisitos mínimos, facilitar el logro de objetivos específicos aún no incluidos en los códigos y normas establecidos, y ayudar a los profesionales del sector en su cumplimiento.

Nos limitamos en este capítulo a nombrar los principales sistemas y programas existentes en Norteamérica, así como su ámbito de aplicación:



- LEED: Canadá, Estados Unidos y Méjico.
- Sistema Green Globes: Estados Unidos y Canadá.
- Energy Star: Estados Unidos y Canadá.
- Living Building Challenge: Estados Unidos y Canadá.
- Certificación de Edificios con Nulo Consumo Energético Neto: Estados Unidos y Canadá.
- Passive House: : Estados Unidos y Canadá.
- ICC 700 National Green Building Standard: Estados Unidos.
- BOMA BEST: Canadá.
- EnerGuide: Canadá.
- Sistema de Evaluación de la Vivienda Verde: Méjico.
- Novoclimat: Canadá.
- R-2000: Canadá.

## I.4. REFERENCIAS

- [1] International Energy Agency. Key World Energy Statistics 2014 Edition y World Energy Outlook 2014.
- [2] Fuente IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro Energético).
- [3] Ministerio de Industria, Energía y Turismo. Planificación energética indicativa según lo dispuesto en la Ley 2/2011, de 4 de marzo, de Economía Sostenible.
- [4] Naciones Unidas (1998). Protocolo de Kioto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.
- [5] Unión Europea. Estrategia de Lisboa. Aprobado por el Consejo Europeo en Lisboa el 23 y 24 de marzo de 2000.
- [6] Unión Europea. Artículo 13 de la Directiva 2009/28/CE. Edificios Cero.
- [7] NBE CT-79. Norma Básica de la Edificación NBE-CT-79: Condiciones térmicas en los edificios. Dirección General de Arquitectura y Vivienda. Madrid, 1979. ISBN 84-7433-178-1.
- [8] Dirección General de la Energía, Dirección General de Arquitectura y Vivienda. Reglamento de Instalaciones de Calefacción y ACS (RICACS). Madrid, 1981. ISBN 84-7433-158-7.
- [9] España. Real Decreto 1027/2007, de 20 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios. Boletín Oficial del Estado, 29 de agosto de 2007, número 207, páginas 35931-35984.
- [10] España. Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación.
- [11] Unión Europea. Directiva 2002/91/CE, también conocida como EPBD, publicada el 4 de enero de 2003, relativa a la Eficiencia Energética en edificios.
- [12] Boletín Electrónico del IDAE nº 49. Febrero 2010. Aplicación del Real Decreto que modifica el RITE. Marcos González Álvarez. Departamento Doméstico y de Edificios, IDAE.

[13] España. 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, número 27, páginas. 4499-4507.

[14] European Commission - Press release. Energy performance of buildings: Commission refers Spain to Court. Memo/11/824. 24 de Noviembre de 2011.

[15] España. Real Decreto 235/2013, de 5 de abril, por el que se aprueba el procedimiento básico para la certificación de la eficiencia energética de los edificios. BOE 89 Sábado 13 de abril de 2013, páginas 27548 – 27563.

[16] Directiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 19 de mayo de 2010, relativa a la eficiencia energética de los edificios (recast)

### **Páginas web**

[w-1] Informe GTR 2014, Claves para transformar el sector de la edificación en España. Albert Cuchí y Peter Sweatman. Disponible en Mayo 2015 en

<http://www.gbce.es/archivos/ckfinderfiles/GTR/Informe%20GTR%202014.pdf>

[w-2] 2014 International Energy Efficiency Scorecard, publicado por ACEEE (American Council for an Energy-Efficient Economy). Disponible en Abril de 2015 en

<http://aceee.org/research-report/e1402>

[w-3] International Green Construction Code, publicado por International Code Council. Disponible en Febrero 2015 en

<http://www.iccsafe.org/cs/igcc/pages/default.aspx?usertoken={token}&Site=icc>

[w-4] International Code Council. Disponible en Marzo 2015 en

<http://www.iccsafe.org>

[w-5] ASHRAE American Society of Heating, Refrigeration, and Air Conditioning Engineers. Disponible en Marzo 2015 en

[www.ashrae.org](http://www.ashrae.org)



## CAPÍTULO II.- HERRAMIENTAS DE SIMULACIÓN ENERGÉTICA

<i>RESUMEN</i> .....	72
<i>ABSTRACT</i> .....	74
<i>II.1. SIMULACIÓN ENERGÉTICA DE EDIFICIOS</i> .....	76
II.1.1.    Métodos .....	77
II.1.2.    Situación en España .....	80
II.1.3.    Otros programas .....	83
<i>II.2. PROGRAMAS Y PROCEDIMIENTOS</i> .....	84
II.2.1.    CALENER VYP .....	84
II.2.2.    CALENER GT.....	88
II.2.3.    Post - CALENER.....	94
II.2.4.    CERMA.....	95
II.2.5.    CE3.....	103
II.2.6.    CE3X .....	110
II.2.7.    TRNSYS .....	120
II.2.8.    EnergyPlus.....	122
<i>II.3. REFERENCIAS</i> .....	133



## **RESUMEN**

En el capítulo II se estudian las herramientas necesarias para llevar a cabo una simulación energética y obtener, caso de ser un procedimiento reconocido, la calificación energética.

Se procede a describir las herramientas, tanto en concepto como en su situación de desarrollo, en un ámbito internacional. Posteriormente, se analiza el estado de las herramientas de simulación en España y cuales están reconocidas por el Ministerio de Industria, Energía y Turismo para la certificación energética de edificios.

Visto el estado del arte de las herramientas de simulación, se lleva a cabo una descripción con mayor detalle de las herramientas previamente mencionadas usadas en esta tesis.





**ABSTRACT**

Chapter II explores the tools needed to perform an energy simulation and obtain, if it is a recognized procedure, energy rating.

The tools are described, both in concept and in its situation of development at an international level. Subsequently, the state of the tools of simulation in Spain is analyzed and which are recognized by the Ministry of industry, Energy and Tourism for the energy certification of buildings.

Already analyzed the state of the art of simulation tools, a description in more detail of the previously mentioned tools used in this thesis takes place.



## II.1. SIMULACIÓN ENERGÉTICA DE EDIFICIOS

Podría decirse que una simulación energética es la modelización de un edificio y su entorno con el objetivo de analizar su comportamiento energético teórico. Se efectúa con programas de simulación, como LIDER, CALENER, TRNSYS, EnergyPlus,...

La simulación energética tiene en cuenta tanto la geometría y los materiales que componen el edificio como, las condiciones climatológicas del exterior, además del uso del edificio (niveles de ocupación y horarios de funcionamiento, cargas interiores debidas al uso previsto, etc.).

La simulación energética es necesaria en:

- **Proyecto constructivo:** Actualmente, cualquier proyecto constructivo de un edificio debe incluir una Certificación Energética, basada en una simulación previa a su ejecución, realizada con alguno de los programas oficialmente reconocidos. Cada vez es mayor el número de administraciones públicas y promotores privados que ponen como requisito para sus proyectos una calificación energética determinada, por ejemplo clase B para todos los edificios públicos.
- **Rehabilitación:** La rehabilitación de un edificio con objeto de mejorar su eficiencia energética es un caso característico en el que es interesante una simulación, para prever el comportamiento energético obtenido con las medidas de mejoras que queremos incorporar.
- **Obtención de sello de certificación ambiental:** Muchos de los sellos y programas de certificación ambiental de edificios, como gran parte de los estudiados en el capítulo anterior, requieren datos obtenidos en una simulación previa, como energía/consumo final o emisiones de CO<sub>2</sub>. Una parte muy importante de la puntuación que otorgan estos sellos de certificación ambiental depende del comportamiento energético del edificio.
- **Auditoría Energética:** En una auditoría energética se analiza el comportamiento energético real de un edificio, y el coste asociado. El objetivo suele ser la reducción del consumo, tanto a nivel energético como a nivel económico. Algunas propuestas de mejora se suelen basar en predicciones de comportamiento del edificio con la variación de las condiciones aportadas por dichas mejoras, que sólo

son posibles si contamos con una buena simulación energética que nos permita decidir la conveniencia o no de llevar a cabo la medida.

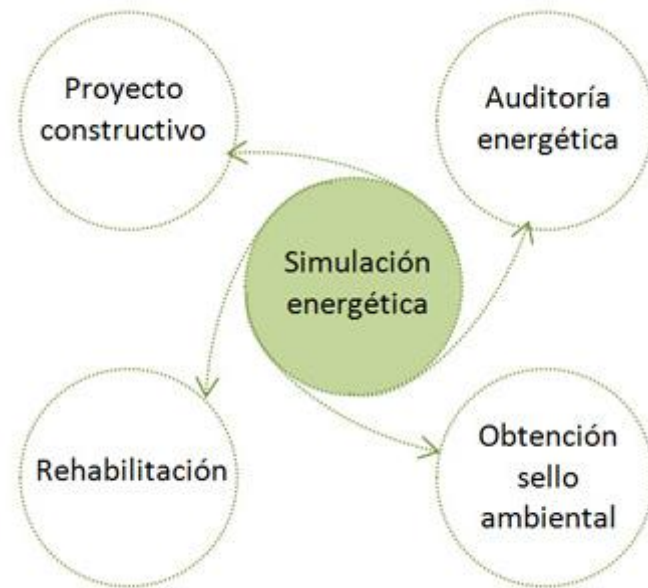


Figura II.1.-Esquema de casos usuales de necesidad de simulación energética

### II.1.1. Métodos

Desde los años 70 se han desarrollado diversas metodologías para el cálculo del consumo de energía en edificios.

Un enfoque clásico de este problema (métodos directos) parte del conocimiento detallado de los fenómenos físicos que determinan el comportamiento del sistema (ecuaciones de transferencia de masa y energía en el edificio) para predecir su respuesta frente a variables de entrada: geometría del edificio, clima, epidermis, características ocupacionales y funcionales, instalaciones lumínicas y térmicas, sistema de control, etc. Este enfoque directo no necesita que el edificio esté construido para predecir su comportamiento, resultando aplicable tanto a edificios nuevos como existentes. Además, se basa en principios relativamente conocidos por los técnicos como herramienta para el diseño y análisis energético.

Por el contrario, los métodos inversos describen matemáticamente el sistema a partir del conocimiento de las variables de entrada y salida y sólo pueden aplicarse a edificios existentes.

En los últimos 20 años se ha desarrollado una gran variedad de métodos directos y herramientas para su implementación, lo que dificulta su clasificación y selección.

Suelen dividirse en dinámicos y estacionarios: Los métodos dinámicos tienen en cuenta los procesos transitorios asociados a condiciones de contorno variables con el tiempo, utilizan el método del balance de energía o de los factores de ponderación y trabajan con paso de tiempo corto (típicamente una hora). La complejidad de estos métodos ha propiciado el desarrollo de multitud de procedimientos simplificados como los grados-día, el método bin, métodos mensuales o estacionales y correlaciones basadas en simulaciones.

En la elección de un método deben considerarse aspectos como la exactitud de los resultados, la sensibilidad de determinados parámetros, la versatilidad para adaptarse a diferentes funciones, el alcance y la dificultad de uso, la reproducibilidad de los resultados y un coste compatible con los beneficios.

En la actualidad, la mayoría de los métodos se implementan en computadoras y su elección se reduce a la de un programa informático. La mayor dificultad para el técnico se encuentra en el proceso de aprendizaje y manejo del programa, que depende fuertemente de la complejidad de la entrada y salida de datos, la calidad de los manuales de usuario y la disponibilidad de asistencia técnica y cursos de formación.

La complejidad de la entrada se reduce mediante la asignación de valores por defecto. Algunos programas permiten al usuario establecer el nivel de detalle, con lo que el programa sólo solicita la información necesaria para dicho nivel, utilizando valores por defecto para el resto. Los programas de simulación solicitan numerosos datos que el usuario debe interpretar, reunir e introducir en la interfaz de entrada de la aplicación. En términos informáticos, el motor de cálculo fija la máxima dificultad de la entrada que puede verse reducida por la interfaz.

Para la entrada de la geometría existen dos opciones: la simplificada que solicita áreas y orientaciones de los cerramientos, y la tridimensional que necesita las coordenadas de los elementos constructivos. Para las instalaciones, el nivel de entrada puede variar desde unos pocos datos para métodos simplificados, hasta la gran complejidad de los programas de simulación (cientos de entradas).

En ciertos casos, la entrada se realiza mediante fichero de texto, debiendo hacerse en un lenguaje que describa el edificio, el más conocido es el Building Description Language (BDL), de manera estructurada y permita su legibilidad. En otro caso, el fichero de entrada es difícil de leer y entender, haciendo el desarrollo de una interfaz gráfica imprescindible.

Últimamente, se trabaja para facilitar la entrada de la geometría mediante la conexión con herramientas CAD en tres líneas diferentes (figura II.2.).

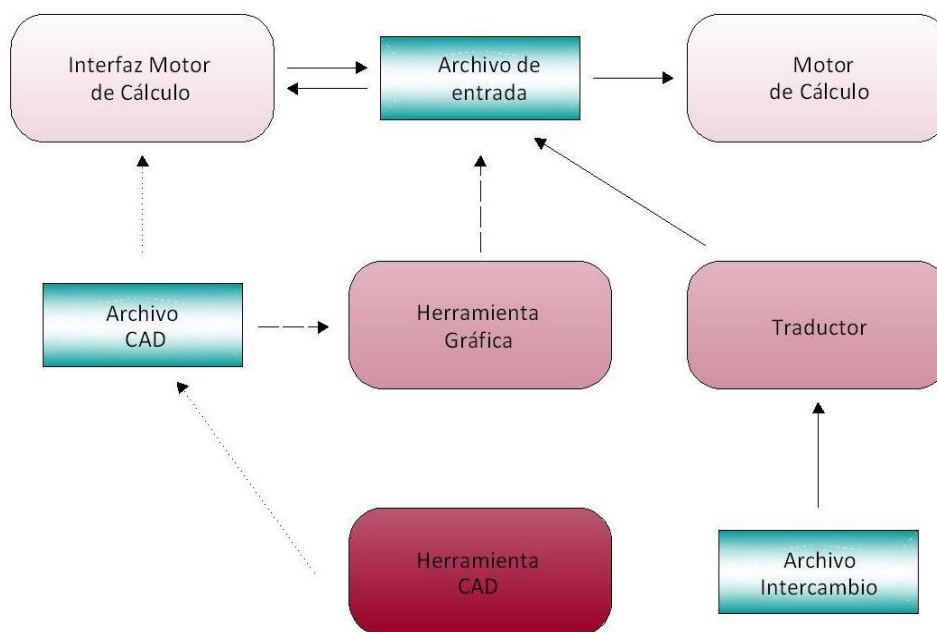


Figura II.2.- Definición de la geometría en herramientas de simulación energética.

La primera permite la visualización gráfica del edificio en tres dimensiones en la interfaz del motor de cálculo desde la que pueden importarse planos de arquitectura (ficheros CAD) como apoyo para la generación de la geometría. El programa eQUEST [w-1], principal interfaz de DOE-2.2, o el programa LIDER [w-2] para el cumplimiento de la exigencia HE1 de la reglamentación española, constituyen dos buenos ejemplos.

La segunda posibilidad consiste en desarrollar una herramienta gráfica intermedia entre el programa CAD y el motor de cálculo que permita especificar la geometría en el formato de entrada al motor a partir de los ficheros CAD. Programas como Desing Builder [w-3] y Ecotect [w-4] trabajan en esta línea.

La tercera opción escribe un archivo de intercambio desde el programa CAD que es transformado por un programa traductor en la entrada para el motor de cálculo. Presenta como ventajas la desvinculación entre el proyectista del edificio, usuario de la herramienta CAD, y el analista energético, que utiliza el traductor y el programa de simulación, y la posible definición de un formato estándar para el archivo intermedio. El desarrollo de Green Building Studio [w-5] sigue esta línea y ha supuesto un primer paso hacia la estandarización de un modelo de intercambio de información entre programas. Al mismo tiempo, International Alliance for Interoperability (IAI)

trabaja en el desarrollo de un modelo para el intercambio de información de edificios válido para cualquier tipo de herramienta a partir de las Industry Foundation Classes (IFC) [1].

Los informes de salida deben tener presente la funcionalidad de la aplicación: diseño, análisis energético, evaluación de medidas de ahorro, optimización energética, cumplimiento de normativa, etc. En cualquier caso, deben incluir un resumen de resultados generales (mensuales y anuales) y la posibilidad de acceder a información horaria detallada.

### **II.1.2. Situación en España**

Los procedimientos para la calificación de eficiencia energética de un edificio deben ser documentos reconocidos y estar inscritos en el Registro General. Estos programas están disponibles en la web del ministerio [w-6].

Actualmente existen distintos documentos y procedimientos que han solicitado ser reconocidos. El estudio que se realiza en este capítulo es específico de los métodos que ya son reconocidos en la fecha de redacción de esta tesis.

Cuando se utilicen componentes, estrategias, equipos y/o sistemas que no estén incluidos en los programas disponibles, para su consideración en la calificación energética se hará uso del procedimiento establecido en el documento informativo "*Aceptación de soluciones singulares y capacidades adicionales a los programas de referencia y alternativos de calificación de eficiencia energética de edificios*", disponible en el Registro General.

#### **Procedimiento general para la certificación energética de edificios en proyecto y terminado**

El procedimiento general se basa en CALENER es una herramienta informática promovida por el Ministerio de Industria, Energía y Turismo, a través del IDAE, y por el Ministerio de Fomento, que permite obtener la certificación energética de un edificio, tanto en fase de proyecto como de edificio terminado. Consta de dos herramientas informáticas para una utilización más fácil por el usuario:

##### Programa informático CALENER VYP

Programa informático de referencia CALENER VYP, para la calificación de eficiencia energética de edificios de viviendas y del pequeño y mediano terciario.

### Programa informático CALENER-GT

Programa informático de referencia CALENER-GT, para la calificación de eficiencia energética de grandes edificios del sector terciario.

### Programa informático PostCALENER

Programa informático de referencia PostCALENER que permite el tratamiento de componentes, estrategias, equipos o sistemas no incluidos en los procedimientos originales CALENER y su integración con el mismo.

### **Procedimientos de certificación energética para edificios existentes**

CALENER continúa siendo el procedimiento de referencia para la calificación energética de edificios, siéndolo también para el caso de edificios existentes. No obstante, tiene una serie de limitaciones que hacen aconsejable el desarrollo de procedimientos específicos para edificios existentes.

Por tanto, se hace indispensable actuar en dos direcciones para superar dichas limitaciones. En este sentido se han promovido las siguientes actuaciones:

- Nueva escala de calificación energética edificios existentes
- Implementación de Procedimientos Simplificados

### Nueva escala de calificación energética edificios existentes

Se ha desarrollado una nueva escala de calificación energética para edificios existentes [w-7]. El objetivo de este documento es la obtención de los valores medios y las dispersiones de los indicadores para el parque de edificios de viviendas existente, que permitan obtener el rango completo de la escala de eficiencia energética.

Previamente ya existía este documento para edificios nuevos bajo el título “Escala de calificación energética para edificios de nueva construcción” [w-8] con los parámetros necesarios para construir una escala de calificación correspondiente a edificios nuevos.

### Implementación de Procedimientos Simplificados

Existen 2 métodos simplificados disponibles y reconocidos:

- CE3
- CE3X



Poseen validez en el mismo rango de edificios: viviendas, pequeño y mediano terciario y gran terciario.

Ambos programas difieren en su autor, distinto en cada caso, y desarrollados en paralelo por distintas empresas mediante adjudicación de contratos del Ministerio.

- CE3 fue elaborado por APPLUS NORCONTROL S.L.U.
- CE3X fue elaborado por NATURAL CLIMATE SYSTEMS, S.A. (UTE MIYABI-FUNDACIÓN CENER)

Las diferencias principales entre los dos residen en la forma de incorporar los datos: el CE3 permite un mayor número de opciones, incluso pudiendo importar la geometría de LIDER, y en la forma de tratar las medidas de mejora.

#### **Procedimientos simplificados para la calificación de eficiencia energética de edificios de viviendas**

El programa informático CERMA, es una herramienta informática que ha sido reconocida por el Ministerio de Industria, Energía y Turismo y por el Ministerio de Fomento, y que permite obtener, de forma simplificada, la calificación de eficiencia energética de edificios de viviendas.

Es una aplicación gratuita de diseño y de predicción de la calificación de eficiencia energética que se obtendría con la aplicación de CALENER VYP, ofreciendo un estudio detallado para mejorar la calificación obtenida.

Fue desarrollado por ATECYR (Asociación Técnica Española de Climatización y Refrigeración) y el Instituto Valenciano de la Edificación.

#### **Procedimientos simplificados de carácter prescriptivo para la calificación de eficiencia energética de edificios de viviendas.**

Son documentos técnicos que han sido reconocidos por el Ministerio de Industria, Energía y Turismo y por el Ministerio de Fomento y que permiten obtener la calificación de eficiencia energética de viviendas de forma simplificada mediante el desarrollo de la metodología de cálculo.

El procedimiento básico para la certificación de eficiencia energética de edificios establece que la obtención de la calificación de eficiencia energética de un edificio se podrá realizar mediante una opción general, de carácter prestacional, verificada mediante un programa

informático, o bien mediante una opción simplificada, de carácter prescriptivo que desarrolla la metodología de cálculo de una manera indirecta.

Actualmente sólo se encuentra con validez de uso el procedimiento CE2, habiendo sido retirado el procedimiento 1, previamente existente, en la “Nota informativa sobre Procedimiento Transitorio para la Certificación de Eficiencia Energética” publicada el 13 de Marzo de 2.014 [w-9].

Dicho procedimiento y su hoja de cálculo Excel es descargable en la web del Ministerio [w-6].

### **II.1.3. Otros programas**

#### **EE.UU.**

En EE.UU. surgen desde 1970 distintos programas derivados de la inversión de la administración americana, principalmente DOE2 y BLAST (Building Loads Analysis and System Thermodynamics) que fue encargado al NIST (EE.UU.), siendo muchos de ellos programados inicialmente con lenguajes como el FORTRAN y posteriormente han evolucionado hacia lenguajes similares a C++ o JAVA (orientados a objetos).

Otros programas, como el TRNSYS (Transient Simulation of Systems) de la Universidad de Wisconsin - Madison (EE.UU.), tuvieron y tienen un ámbito universitario. Inicialmente no estaban orientados a productividad o industria, aunque recientemente se han creado aplicaciones para generar los modelos con mayor facilidad.

Lo mejor de DOE2 y BLAST, según diversos autores, se unió en un nuevo programa llamado Energy-Plus, como se afirma en “EnergyPlus Analysis Capabilities for Use in California Building Energy Efficiency Standards Development and Compliance Calculations”, de Tianzhen Hong, Fred Buhl y Philip Haves.

#### **Europa**

Europa no dispone de una organización europea que centralice y aúne el esfuerzo para el desarrollo de este tipo de software.

Lo que existe son diversos programas con enfoques también muy diversos: comerciales, libres, etc. Son realizados por algunos de los estados miembros.

Ejemplos:

- Dinamarca: BSIM del Instituto Danés para la investigación en edificios.

- Inglaterra: ESP-r de la universidad de Strathclyde, en Glasgow, cuyo código es abierto.
- Suecia: IDA-ICE es un programa comercial con un motor de simulación común y módulos con diversas aplicaciones (para el caso de edificios dicho módulo es el ICE-Indoor Climate and Energy).

Existen también programas comerciales para la introducción del modelo de forma cómoda que usan como motores programas americanos de código abierto y ampliamente reconocidos:

- IISIBAT (del instituto para la edificación francés CSTB): utiliza como núcleo de cálculo el TRNSYS
- Design Builder en Inglaterra: ayuda a generar el fichero IDF usado por el EnergyPlus americano previamente mencionado.

Así pues, parece lógico centrar nuestro análisis en los programas Trnsys y EnergyPlus, al ser los 2 más contrastados y reconocidos internacionalmente.

El desarrollo y descripción de cada uno de los softwares existentes en el mercado, así como de los procedimientos reconocidos en España, se realizará en el siguiente apartado.

## **II.2. PROGRAMAS Y PROCEDIMIENTOS**

### **II.2.1. CALENER VYP**

La aplicación CALENER VYP es la implementación informática del programa de calificación energética de viviendas y edificios terciarios pequeños y medianos.

La aplicación está diseñada para la descripción geométrica, constructiva y operacional de los edificios y sus instalaciones de climatización, agua caliente sanitaria (ACS) e iluminación (para edificios no residenciales). Lleva a cabo todos los cálculos necesarios para su calificación energética, de acuerdo a la normativa vigente.

Su uso está limitado a edificios de viviendas y a edificios terciarios pequeños y medianos, climatizados mediante los tipos de equipos incluidos en este programa. El comportamiento de los equipos frente a las condiciones de contorno (temperaturas, caudales, fracción de carga) se rige por unas curvas de comportamiento que se deben conocer para los equipos que se precise simular. Para cada tipo de equipo se define un formato de las distintas curvas de comportamiento

y se suministran valores por defecto, recogidos en el documento “CALENER VYP. Factores de corrección de equipos”.

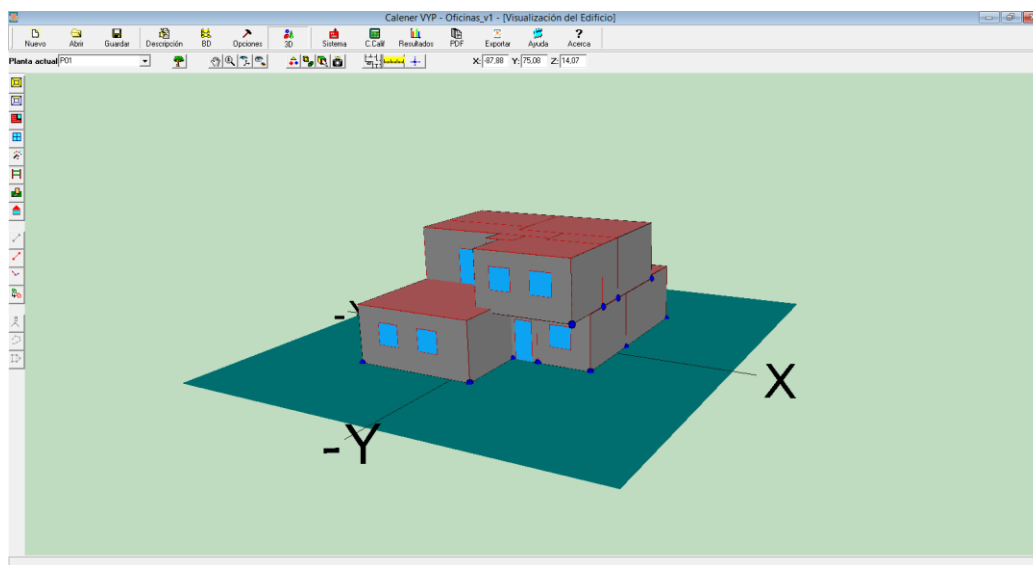


Figura II.3.- Imagen del espacio 3D de definición geométrica en CALENER VYP.

La aplicación se ha diseñado para la descripción geométrica y constructiva de los edificios. Si bien inicialmente esto se hacía con el programa LIDER, actualmente se puede realizar ambas definiciones desde el propio CALENER VYP, siendo necesario el conocimiento de dicha aplicación LIDER para todo lo referente a la definición geométrica y constructiva de los edificios.

Se compone del LIDER y de un motor de cálculo ESTO2 para la simulación de las instalaciones de climatización, iluminación (no residenciales) y ACS.

La definición de la geometría y constructiva del edificio se realiza previamente con el programa LIDER o, como se ha dicho, en el propio programa CALENER VYP al incorporar las utilidades de LIDER.

ESTO2 (Entorno de Simulación Térmica Orientado a Objetos) es un programa informático diseñado para ser utilizado como motor de cálculo de procesos térmicos en general. La simulación de los sistemas de climatización (refrigeración, calefacción y ventilación) y ACS en los edificios constituyen un tipo de proyectos que ESTO2 puede simular y que se denomina ESTO2-Edificios.

### LIDER

La aplicación LIDER es el programa informático ofrecido por el Ministerio y por el IDAE para la verificación de la “Limitación de demanda energética (HE1)” establecido en el Código Técnico de la Edificación (CTE).

Este programa realiza una simulación de la demanda energética en base horaria, en régimen transitorio de transferencia de calor, considerando todas las zonas que tiene el edificio (análisis multizona).

Al ser una herramienta de evaluación normativa, el programa LIDER genera de forma automática un edificio de referencia con las mismas características de forma, orientación y uso del edificio analizado, pero con unas soluciones constructivas que le permitirían cumplir los requisitos prescriptivos del CTE.

En la presentación de los resultados obtenidos se proporciona el porcentaje de mejora del edificio objeto de estudio respecto a la demanda del edificio de referencia definido según las especificaciones del CTE.

El programa realiza una introducción del edificio basándose en la descripción en planta y dando una altura global a cada planta del edificio. Permite la introducción de planos de apoyo sobre el que desarrollar las líneas y elementos que delimitan los espacios a definir.

Se puede realizar una introducción del tipo de espacio en cuanto a su uso, así como una definición de las composiciones de cerramientos, forjados y particiones existentes en cada espacio. Posteriormente el programa asigna a cada límite de espacio un tipo, sea cerramiento, suelo, partición interior, muro en contacto con el terreno,... y con unas opciones predefinidas por el usuario, la composición correspondiente a cada tipo. Independientemente de esta selección por defecto, podremos cambiar manualmente la composición de cualquier límite de espacio en lugar de tomar la predefinida.

Los materiales que componen cada tipo, pueden escogerse de un listado ya definido o pueden introducirse materiales nuevos si conocemos sus características físicas y térmicas.

El programa, nos dará el cumplimiento o no de la limitación de demanda energética.

### **Introducción de sistemas en CALENER VYP y obtención de calificación**

Los pasos a seguir para la calificación del edificio son los siguientes:

- Estudio del sistema de acondicionamiento instalado, decidiendo qué combinación de elementos queremos introducir en el programa (sistemas, equipos, unidades terminales, factores de corrección) necesarios para modelarlo. Se deben considerar los sistemas de calefacción, refrigeración, agua caliente sanitaria (ACS) y, en el caso de edificios terciarios, de iluminación.

- Recopilación de información relativa al dimensionado de los elementos del programa: potencias y rendimientos nominales, caudales, temperaturas de impulsión, rendimientos a carga parcial, etc.
- Carga el archivo de definición geométrica y constructiva de LIDER o definición en el propio CALENER VYP con misma metodología que en LIDER.
- Llevar a cabo la definición completa del edificio, con el tipo de edificio y las características de los sistemas de iluminación si es un edificio terciario.
- Definición de la demanda de ACS.
- Definición de los factores de corrección que necesitan los equipos utilizados del sistema.
- Definición de equipos y/o unidades terminales necesarios.
- Definición de sistemas (incluido el de ACS), asociando equipos y unidades terminales a los espacios acondicionados del edificio.
- Cálculo de la calificación.
- Obtención del informe emitido por el programa.

#### **Datos de entrada**

- Geometría y calidad constructiva: LIDER.
- Cargas internas (no residencial):
  - Intensidad de ocupación baja, media o alta: 8, 12, 16 ó 24 h.
- Iluminación (no residencial):
  - Potencia (W/m<sup>2</sup>), VEEI y VEEI límite.
  - Control de la iluminación artificial en función de la iluminación natural.
- Sistemas de acondicionamiento:
  - Sistemas autónomos (aire-aire).
  - Calefacción eléctrica.

- Calefacción por agua caliente + unidades terminales.
- Instalación de ACS.
- Instalación mixta de ACS y calefacción.
- Sistema ideal/equivalente definido por rendimiento medio.

### **Base de datos**

La aplicación posee una base de datos que incluye una muestra representativa de todos los equipos, unidades terminales y factores de corrección que el usuario puede necesitar para definir cualquier sistema.

La base de datos se divide en los bloques:

- Equipos
- Unidades terminales
- Factores de corrección

### **Factores de corrección**

La simulación de equipos en CALENER VYP se basa en el uso de funciones que describen el comportamiento del equipo, dependiendo de variables exteriores al mismo.

A modo de ejemplo, la capacidad frigorífica total desarrollada por un equipo autónomo aire-aire varía con la temperatura seca del aire exterior y la temperatura húmeda del aire interior.

Estas funciones de variación se suministran a los equipos a través de referencias a “factores de corrección”.

Se incluyen factores de corrección en CALENER VYP que se utilizan en los equipos y unidades terminales que se han incorporado.

### **II.2.2. CALENER GT**

CALENER es una aplicación informática destinada a la calificación energética de edificios. La versión GT de CALENER realiza la calificación de “Grandes edificios Terciarios”, a diferencia de la versión VYP, para “Viviendas Y Pequeños y medianos terciarios”.

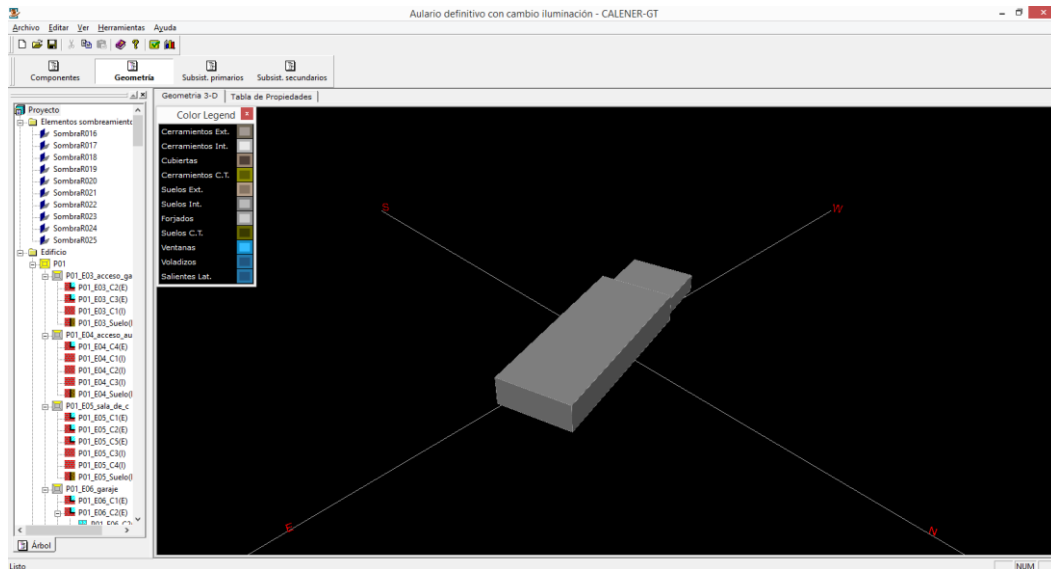


Figura II.4.- Imagen del espacio 3D de CAENER GT.

Para decidir que edificios del sector no residencial o terciario son grandes (calificados con CAENER GT) y cuales pequeños y medianos (calificados con CAENER VYP) debe basarse fundamentalmente en los tipos de sistemas (que definen el alcance del programa) de los programas CAENER VYP y CAENER GT. Según esto, es recomendable el uso de CAENER GT en aquellas situaciones en las que, debido al tipo de sistema que tiene el edificio, no pueda usarse CAENER VYP.

La aplicación se ha diseñado para la descripción geométrica, constructiva y operacional de los edificios y sus instalaciones de climatización, ACS e iluminación (para edificios no residenciales), llevando a cabo todos los cálculos necesarios para su calificación energética, de acuerdo a la normativa vigente.

El comportamiento de los equipos frente a las condiciones de contorno (temperaturas, caudales, fracción de carga) se rige por unas curvas de comportamiento que se deben conocer para los equipos que se precise simular.

La definición de los edificios es compatible con la requerida por el programa LIDER, siendo preciso el conocimiento de dicha aplicación para todo lo referente a la definición geométrica y constructiva de los edificios.

### Estructura del programa

Los componentes principales que posee el programa son:



- Interfaz Windows para introducción y modificación de datos: En el árbol de objetos del programa, se pueden observar:
  - Componentes: el árbol de componentes muestra diversos objetos clasificados en carpetas que serán utilizados mediante referencias por otros objetos del proyecto. Polígonos, materiales, conjuntos de capas, horarios,...
  - Geometría: se encuentran los objetos que constituyen la epidermis del edificio (carpeta "Edificio") y los obstáculos remotos (normalmente otros edificios) que proyectan sombra sobre nuestro edificio (carpeta "Elementos sombreado").
  - Subsistemas primarios: son equipos de producción de energía térmica (plantas enfriadoras, calderas, torres de enfriamiento,...) que se conectan entre sí o con los sistemas de tratamiento de aire (subsistemas secundarios).
  - Subsistemas secundarios: aparecen todos los sistemas de tratamiento de aire, tanto los conectados a equipos centrales a través de circuitos, como los autónomos.
- Base de datos o librería: la base de datos existente en CALENER GT posee datos que podemos agrupar según las siguientes categorías:
  - Materiales y elementos constructivos:
    - Materiales habituales con propiedades térmicas (conductividad, calor específico, densidad, etc.).
    - Agrupaciones o composiciones de materiales (muros y cubiertas).
    - Vidrios y marcos frecuentemente utilizados.
  - Datos climáticos:
    - Archivos ficticios creados estadísticamente (temperatura seca, humedad coincidente, radiación directa y difusa, dirección y velocidad del viento).

- Datos sobre 50 localidades, capitales de provincia, y ficheros representativos de cada zona climática del CTE HE-1.
- Curvas de comportamiento de los componentes de las instalaciones: curvas para la simulación del comportamiento a carga parcial de los sistemas de acondicionamiento.
- Patrones horarios de funcionamiento: ocupación, iluminación, equipos, etc.
- Ayuda en formato electrónico.
- Motor de cálculo.
- Herramienta administrativa.
- Herramienta de resultados: tiene por finalidad informar al técnico calificador sobre las contribuciones al nivel de emisiones de CO<sub>2</sub> de los diversos usos finales de energía del edificio. Mostrará:
  - Resultados individuales correspondientes al edificio objeto y referencia.
  - Resultados comparados entre diversos proyectos.

### **Alcance de CALENER GT**

#### Tipos de edificios

Los tipos de edificios susceptibles de ser estudiados en CALENER GT son:

- Oficinas: edificios cuyo uso principal es de oficinas.
- Destinado a enseñanza: colegios, institutos, universidades, academias y todo tipo de edificio destinado principalmente a uso docente.
- Edificios de uso sanitario: hospitales, clínicas y ambulatorios.
- Hoteles y restaurantes.
- Comercio: edificios o locales destinados a uso comercial al por mayor y al por menor, tales como grandes centros comerciales, supermercados, pequeños comercios, etc.

- Otros tipos: edificios no clasificables como ninguno de los tipos anteriores.

### Tipos de energía

Para cada uno de los equipos principales de consumo energético (calderas, máquinas enfriadoras,...) susceptibles de usar diferentes tipos de energía, el usuario debe especificar el tipo de energía:

- Carbón
- GLP (gases licuados del petróleo)
- Gasóleo
- Fuel-oil
- Gas natural
- Biomasa
- Electricidad

También se incluyen los paneles solares térmicos para la producción de ACS, que deben definirse conjuntamente con el sistema de apoyo que se instale.

### *Sistemas de producción de energía eléctrica*

Se dividen en 2 tipos:

- Sistemas de generación por consumo de combustible: se definen mediante el objeto "Equipo de Cogeneración", donde se demanda que tipo de energía de entre las anteriormente mencionadas consume el equipo.
- Sistemas de generación sin emisión de CO<sub>2</sub>: si el edificio cuenta con algún sistema de este tipo (paneles fotovoltaicos, aerogeneradores,...) se debe especificar el porcentaje de energía eléctrica respecto del que consume el edificio es generada de esta forma. Dicho valor se especifica en "Datos generales", en la pestaña "Energía eléctrica".

### **Obtención de la calificación energética**

Al pedir a CALENER GT que calcule la calificación energética del edificio, ejecuta un proceso de simulación horaria de dicho edificio (calcula cargas y sistemas). El objetivo es obtener

las emisiones de CO<sub>2</sub> debidas al consumo energético del edificio objeto y posteriormente del edificio de referencia.

Se generan 2 tipos de archivos de resultados:

- Ficheros pdf: se ubicarán en el mismo directorio donde se encuentra el fichero de entrada del proyecto y se le asigna un nombre “nombre del proyecto Rpt.pdf”. Se puede acceder a él directamente desde el programa pulsando el botón “Ver informe” del diálogo de calificación.
- Ficheros de visualización de resultados, con la herramienta de resultados.

El informe administrativo posee la siguiente información:

- Descripción de características del edificio y sistemas que han permitido obtener la calificación.
- Emisiones de CO<sub>2</sub>, energía final y demanda del edificio objeto y de referencia.
- Calificación global del edificio: se presentan los siguientes resultados:
  - Demanda de calefacción (kWh/m<sup>2</sup>): Energía a aportar al edificio para poder mantener la temperatura de todos los espacios constante durante todas las horas del año.
  - Demanda de refrigeración (kWh/m<sup>2</sup>): Energía a extraer del edificio para poder mantener la temperatura de todos los espacios constante durante todas las horas del año.
  - Climatización (kWh/m<sup>2</sup>): Consumo de equipos de calefacción y refrigeración instalados en el edificio.

Los resultados se presentan en los conceptos:

- ACS (kWh/m<sup>2</sup>): Consumo de los equipos de producción de ACS.
- Iluminación (kWh/m<sup>2</sup>): Consumo de iluminación del edificio.
- Total (Tn CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>): Emisiones totales de CO<sub>2</sub> del edificio. Esta será la variable usada para la calificación global del edificio.

Para cada concepto, se muestra:

- OBJ: Valor obtenido de la simulación para el edificio objeto de estudio.
- REF: valor del edificio tomado como referencia.
- IND: indicador resultante del cociente entre ambos.
- Letra y color asignados para el concepto en cuestión.

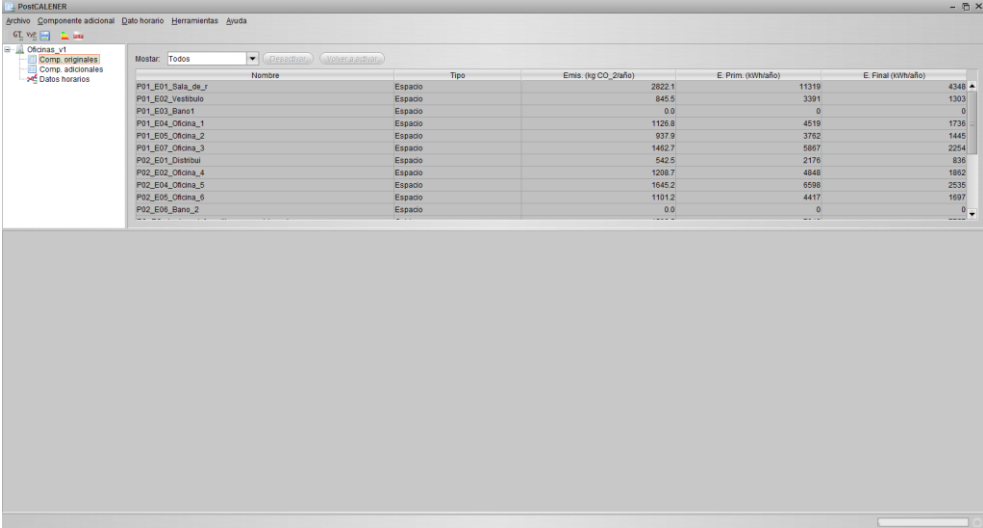
### Fiabilidad del uso de CALENER VYP y CALENER GT

Recientemente se han publicado diversos estudios en los que se llega a la conclusión de la no idoneidad para el cálculo de demandas de CALENER frente a EnergyPlus [2], dado que este último se obtiene inicialmente de DOE-2 y Blast, y ha tenido distintas evoluciones, mientras que CALENER se desarrolla en base a DOE-2 exclusivamente, y con una menor evolución.

Esta no idoneidad se concluye también en otros estudios [3], en los que tras distintos experimentos en los cuales se compara el comportamiento y cálculo realizado por el programa ante diversos casos, se observa como CALENER no calcula de forma correcta factores que pueden ser importantes como infiltraciones, ventilación,....

### II.2.3. Post - CALENER

PostCALENER es un software que permite incluir soluciones singulares y capacidades adicionales relativas a instalaciones y sistemas en CALENER VYP y CALENER GT.



Nombre	Tipo	Emis. (kg CO <sub>2</sub> /año)	E Prim (kWh/año)	E Final (kWh/año)
P01_E01_Sala_0h_1	Espacio	2822.1	11319	4348
P01_E02_Vestibulo	Espacio	845.5	3391	1303
P01_E03_Bano1	Espacio	0.0	0	0
P01_E04_Oficina_1	Espacio	1126.8	4519	1736
P01_E05_Oficina_2	Espacio	937.9	3762	1445
P01_E07_Oficina_3	Espacio	1462.7	5807	2294
P02_E01_Distrib	Espacio	542.5	2176	836
P02_E02_Oficina_4	Espacio	1208.7	4848	1892
P02_E04_Oficina_5	Espacio	1645.2	6588	2535
P02_E06_Oficina_6	Espacio	1191.2	4417	1697
P02_E08_Bano_2	Espacio	0.0	0	0

Figura II.5.- Imagen de programa Post CALENER.

Los objetivos básicos del programa son:

- Suministro de datos de entrada (anuales, mensuales u horarios) a terceras aplicaciones o métodos. A partir de estos las aplicaciones o métodos podrán calcular el consumo energético de instalaciones o sistemas no incluidos en CALENER.
- Modificación de calificación mediante la incorporación de resultados de los componentes simulados y/o calculados con terceras aplicaciones o métodos. De esta forma obtendremos una nueva calificación modificada del edificio.

#### II.2.4. CERMA

CERMA es uno de los procedimientos simplificados para la certificación de eficiencia energética de edificios de viviendas homologados por el Ministerio.

CERMA ha sido desarrollada por el Instituto Valenciano de la Edificación (IVE) y la Asociación Técnica Española de Climatización y Refrigeración (ATECYR), con la colaboración técnica del grupo FREDOSOL del Departamento de Termodinámica Aplicada de la Universidad Politécnica de Valencia, y promovida por la Doncellería de Infraestructuras, Territorio y Medio Ambiente de la Generalitat Valenciana [4].

Sólo es válido para uso vivienda, y no para usos comerciales, administrativos u otros.

CERMA, tras las últimas actualizaciones, es un programa muy polivalente, que permite, con una sola aplicación, la realización de:

- Certificaciones de viviendas en edificios de nueva construcción.
- Justificación de la demanda térmica por el método simplificado del DB-HE1.
- Certificaciones de viviendas en edificios existentes.
- Propone automáticamente mejoras energéticas y las compara.
- Permite la simulación del edificio mejorado y estudia los ahorros obtenidos respecto al original.

Así pues, CERMA se puede utilizar como herramienta de análisis energético y toma de decisiones de proyecto. Sin embargo, hay que tener en cuenta que se trata de una herramienta simplificada, donde diversas cuestiones como los puentes térmicos, las sombras, o la definición

geométrica son estudiadas de forma básica. En casos complejos o en aquellos en que alguno de estos factores sea muy importante, debemos utilizar el método general con CALENER.

La facilidad de manejo de CERMA en cuanto a modificaciones del sistema energético utilizado, lo hace una herramienta óptima en la comparación de cómo se ve afectada la calificación energética en virtud de la energía utilizada. Esto se pone de manifiesto en estudios en este ámbito [5].

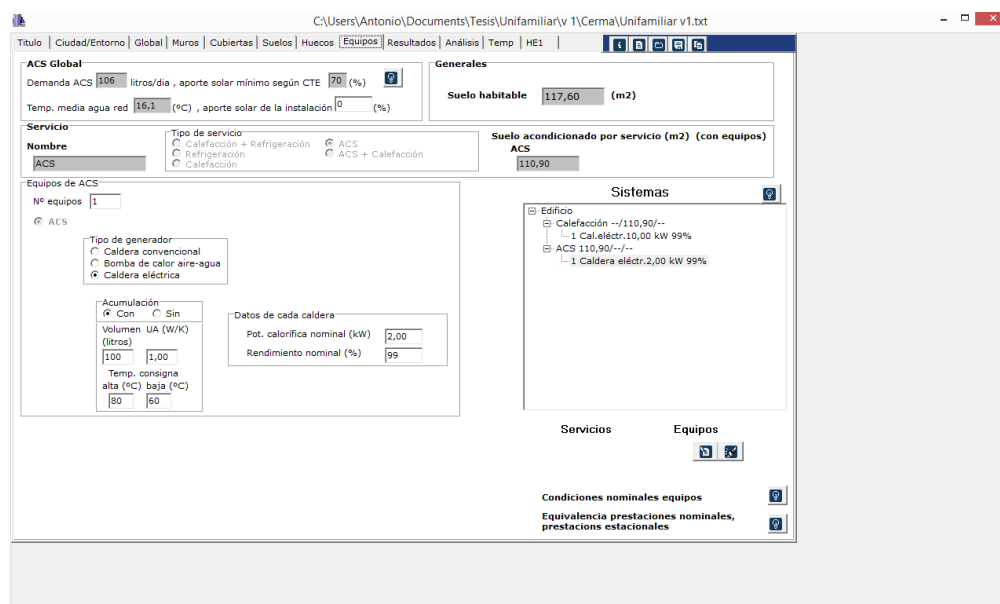


Figura II.6.- Imagen de programa CERMA.

## Estructura del programa

### Introducción de datos

El programa se divide en diferentes pestañas en las que vamos introduciendo los datos de forma numérica: “Título”, “Ciudad/Entorno”, “Global”, “Muros”, “Cubiertas”, “Suelos”, “Huecos”, “Equipos”, “Resultados”, “Análisis”, “Temp” y “HE1”. El programa ofrece en cada uno de los apartados anteriores pantallas de ayuda donde nos facilita valores habituales que podemos utilizar.

No requiere la introducción de planos ni dibujos.

A diferencia de la visión general dada en los métodos generales de calificación energética (CALENER), tanto en CERMA como los otros métodos simplificados existentes, se hará un análisis con mayor detalle, dado que son usados posteriormente en esta tesis.

A la introducción de datos se dedican las siguientes pestañas:

- Título: pantalla que contiene los datos generales y administrativos.
- Ciudad/entorno: datos de la ubicación geográfica y su zona climática del edificio a estudiar.
- Global: datos de descripción global del edificio.
- Muros: Pantalla donde se introducen los muros que forman parte de la envolvente térmica. Pueden ser:
  - Exteriores (fachadas).
  - Otros muros.
    - En contacto con espacio no habitable que a su vez está en contacto con el exterior.
    - En contacto con el terreno.
    - Medianerías.
    - Particiones interiores.
- Cubiertas: Pantalla donde se introducen las cubiertas que forman parte de la envolvente térmica. Éstas pueden ser:
  - Exteriores (horizontales e inclinadas, ambas en contacto con el aire).
  - Otras cubiertas.
    - En contacto con espacio no habitable que a su vez está en contacto con el exterior.
    - En contacto con el terreno - cubiertas enterradas.
    - Cubiertas adiabáticas.
    - Particiones interiores.
- Suelos: Pantalla donde se introducen los suelos que forman parte de la envolvente térmica. Éstos pueden ser:
  - En contacto con el terreno.



- Otros muros.
  - Al exterior.
  - En contacto con espacio no habitable que a su vez está en contacto con el exterior.
  - Forjados sanitarios.
  - Suelos adiabáticos.
  - Particiones interiores
- Huecos: pestaña dedicada a la introducción de ventanas, puertas de fachadas y lucernarios de cubiertas.
- Equipos: El tipo de equipos, los datos que los definen, y sus comportamientos fuera de condiciones nominales son los mismos que los establecidos en CALENER VYP. En CERMA sólo se definen los equipos, no las unidades terminales.

### Resultados

Los resultados más destacados dados para calefacción, refrigeración y ACS son:

- Detalle de la estimación de la calificación global y de las calificaciones asignadas.
- Demanda mensual y anual de energía.
- Consumo de energía (energía final) mensual y anual.
- Emisiones de CO<sub>2</sub> fósil mensual y anual.

Además de los resultados mencionados en la pestaña “Resultados”, CERMA posee otras dos pestañas que aportan datos acerca de los resultados obtenidos y como afectarían posibles modificaciones.

### *Análisis*

Permite el análisis energético de las posibles actuaciones a realizar por el proyectista.

Ofrece de forma detallada las emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas a elementos constructivos, ventilación, puentes térmicos y otras cargas. Debido a ello se puede analizar como afectarían

posibles cambios en dichos elementos, detectar cuáles son más sensibles a mejoras, etc. y tomar decisiones de mejora que reduzcan las emisiones de CO<sub>2</sub>.

Además, el programa propone diferentes situaciones con la aplicación de mejoras (estándar), y hace una previsión del comportamiento del edificio o sistema ante esas diferentes propuestas referidas al edificio y a los sistemas, sacando conclusiones acerca de su repercusión en las emisiones de CO<sub>2</sub>. Para este análisis se realizan un conjunto elevado de simulaciones.

Además de las mejoras sencillas de demanda y de sistemas, existen combinaciones de las mismas de demanda, de sistema, y de ambas.

#### Temperatura

Se puede obtener un gráfico (tanto en 2D como en 3D) de la evolución de la temperatura en el interior del edificio a lo largo del año.

### Comparación de los resultados de CERMA frente a los del procedimiento de referencia CALENER

El Ministerio de Industria, Energía y Turismo, en su web [w-6] recoge un test de comparación de resultados de calificación energética respecto de los obtenidos con el procedimiento general (CALENER).

Los distintos casos estudiados se resumen en la siguiente tabla II.1.

Tabla II.1.- Combinaciones estudiadas en tests de comparación.

	Número de variaciones	Descripción (Caso base)	Descripción (Variaciones)		
Clima	12	A3, A4, B3, B4, C1, C2, C3, C4, D1, D2, D3, E1			
Edificios	9				
Muros	3	Edificios con la construcción de referencia del CTE-HE1 (sin puentes térmicos)	$U_{CTE} \cdot 0,7$	$U_{CTE} \cdot 0,4$	
Cubiertas	3		$U_{CTE} \cdot 0,7$	$U_{CTE} \cdot 0,4$	
Suelos	3		$U_{CTE} \cdot 0,7$	$U_{CTE} \cdot 0,4$	
Ventanas	3		$U = 3,5$	$U = 3,0$	$U = 2,5$
Orientación	3		N	E / O	S / SE / SO
Puentes térmicos	1				
Sombras	1	Sin sombra/sombras propias/sombras lejanas/voladizos			
Ventilación	3	1 ren/h	0,8 ren/h	0,6 ren/h	
TOTAL CASOS	78.732 combinaciones posibles. 12.455 combinaciones calculadas				

En cuanto a sistemas, se compara el rendimiento estacional que proporciona CALENER con el rendimiento estacional proporcionado por el procedimiento simplificado CERMA.

La desviación esperable en el indicador de eficiencia global en emisiones de CO<sub>2</sub> según CERMA se ha estimado a partir de combinaciones estadísticas de las desviaciones de:

- Desviación del Indicador de demanda de calefacción.
- Desviación del indicador de rendimiento del sistema de calefacción.
- Desviación del Indicador de demanda de refrigeración.
- Desviación del indicador de rendimiento del sistema de refrigeración.
- Desviación del indicador de rendimiento del sistema de ACS.

En todos los casos se ha supuesto que el indicador de demanda de agua caliente sanitaria no tiene desviación por ser un término de consumo fijo.

#### Resultados sobre calificación global

En la tabla II.2. se puede observar la estadística de las clases de eficiencia según al indicador de eficiencia global calculadas según CERMA con las que se obtendrían con el procedimiento general CALENER VYP.

De todos estos casos, con un total de 78.732 casos potenciales, el número de casos elegidos aleatoriamente, para ser evaluados mediante el procedimiento simplificado y el de referencia han sido 14.255.

#### Resultados comparativos sobre demanda

En las siguientes tablas II.3., II.4., II.5. y II.6., se muestra el error relativo medio en demanda de CERMA frente a CALENER VYP y cuál es la situación estadística de las clases de eficiencia correspondientes a las demandas energéticas de calefacción y refrigeración calculadas según CERMA en comparación con las que se obtendrían del uso del procedimiento general CALENER VYP.

Se diferencia entre los valores obtenidos en unifamiliares y viviendas en bloques para cada zona climática definida en el CTE.

Tabla II.2.- Comparación en calificación global de CERMA – CALENER VYP.

Zona Climática	Tipo	CERMA gana una clase de eficiencia	Coincide la clase de eficiencia	CERMA pierde una clase de eficiencia	CERMA pierde dos clases de eficiencia
A3	Unifamiliares	0,00%	88,49%	11,51%	0,00%
	Bloques	0,21%	91,09%	8,65%	0,05%
A4	Unifamiliares	0,00%	79,10%	20,90%	0,00%
	Bloques	0,00%	82,34%	17,66%	0,00%
B3	Unifamiliares	0,00%	78,84%	21,16%	0,00%
	Bloques	0,00%	80,58%	19,42%	0,00%
B4	Unifamiliares	0,00%	78,24%	21,76%	0,00%
	Bloques	0,00%	88,81%	11,19%	0,00%
C1	Unifamiliares	0,00%	91,67%	8,33%	0,00%
	Bloques	0,00%	84,46%	15,54%	0,00%
C2	Unifamiliares	0,00%	72,42%	27,58%	0,00%
	Bloques	0,00%	72,29%	27,71%	0,00%
C3	Unifamiliares	0,00%	81,28%	18,72%	0,00%
	Bloques	0,00%	82,03%	17,97%	0,00%
C4	Unifamiliares	0,00%	81,55%	18,45%	0,00%
	Bloques	0,00%	88,14%	11,86%	0,00%
D1	Unifamiliares	0,00%	100,00%	0,00%	0,00%
	Bloques	0,00%	98,76%	1,24%	0,00%
D2	Unifamiliares	0,00%	88,76%	11,24%	0,00%
	Bloques	0,00%	92,13%	7,87%	0,00%
D3	Unifamiliares	0,00%	80,75%	19,25%	0,00%
	Bloques	0,00%	81,98%	18,02%	0,00%
E1	Unifamiliares	0,00%	97,22%	2,78%	0,00%
	Bloques	0,00%	97,57%	2,43%	0,00%
	Media	0,01%	85,77%	14,22%	0,00%

Tabla II.3.-Demanda de calefacción de CERMA – CALENER VYP en viviendas unifamiliares.

Zona Climática	Error Relativo medio	CERMA gana una clase	Coincide la clase	CERMA pierde una clase	CERMA pierde dos clases
A3	1,5%	0,20%	78,70%	16,40%	4,70%
A4	1,0%	0,80%	80,90%	16,40%	1,90%
B3	1,8%	0,00%	86,60%	13,20%	0,20%
B4	10,2%	0,00%	78,50%	21,00%	0,50%
C1	-0,6%	0,00%	93,80%	6,20%	0,00%
C2	1,8%	0,00%	90,90%	9,10%	0,00%
C3	0,6%	0,00%	93,50%	6,50%	0,00%
C4	4,4%	0,00%	91,20%	8,80%	0,00%
D1	-1,8%	0,00%	94,70%	5,30%	0,00%
D2	1,7%	0,00%	93,60%	6,40%	0,00%
D3	2,2%	0,00%	92,90%	7,10%	0,00%
E1	0,1%	0,00%	92,70%	7,30%	0,00%
Media		0,08%	89,00%	10,31%	0,61%

Tabla II.4.-Demanda de refrigeración de CERMA – CALENER VYP en viviendas unifamiliares.

Zona Climática	Error Relativo medio	CERMA gana una clase	Coincide la clase	CERMA pierde una clase	CERMA pierde dos clases
A3	15,3%	0,00%	60,80%	39,20%	0,00%
A4	22,9%	0,00%	34,00%	65,60%	0,40%
B3	20,6%	0,00%	41,10%	58,50%	0,40%
B4	16,1%	0,00%	60,20%	39,80%	0,00%
C2	37,6%	0,20%	23,10%	76,70%	0,00%
C3	15,4%	0,00%	57,50%	42,50%	0,00%
C4	13,3%	0,00%	69,70%	30,30%	0,00%
D3	16,3%	0,00%	48,10%	48,00%	3,90%
Media		0,03%	49,31%	50,08%	0,59%

Tabla II.5.-Demanda de calefacción de CERMA – CALENER VYP en bloque de viviendas.

Zona Climática	Error Relativo medio	CERMA gana una clase de eficiencia	Coincide la clase de eficiencia	CERMA pierde una clase de eficiencia	CERMA pierde dos clases de eficiencia
A3	15,1%	0,00%	65,10%	29,00%	5,90%
A4	13,2%	0,30%	72,50%	24,00%	3,20%
B3	6,3%	0,00%	88,60%	11,40%	0,00%
B4	12,4%	0,00%	79,70%	20,20%	0,10%
C1	4,7%	0,00%	97,90%	2,10%	0,00%
C2	4,5%	0,00%	93,10%	6,90%	0,00%
C3	2,5%	0,00%	96,30%	3,70%	0,00%
C4	3,4%	0,00%	94,90%	5,10%	0,00%
D1	-0,8%	0,00%	99,00%	1,00%	0,00%
D2	4,4%	0,00%	97,70%	2,30%	0,00%
D3	3,6%	0,00%	96,30%	3,70%	0,00%
E1	2,5%	0,00%	98,00%	2,00%	0,00%
Media		0,03%	89,93%	9,28%	0,77%

Tabla II.6.-Demanda de refrigeración de CERMA – CALENER VYP en bloque de viviendas.

Zona Climática	Error Relativo medio	CERMA gana una clase de eficiencia	Coincide la clase de eficiencia	CERMA pierde una clase de eficiencia	CERMA pierde dos clases de eficiencia
A3	-1,9%	1,90%	98,10%	0,00%	0,00%
A4	10,3%	0,00%	87,50%	12,50%	0,00%
B3	11,2%	0,00%	84,10%	15,90%	0,00%
B4	1,3%	0,00%	100,00%	0,00%	0,00%
C2	35,0%	0,00%	29,90%	70,10%	0,00%
C3	9,1%	0,00%	84,80%	15,20%	0,00%
C4	0,5%	1,40%	98,40%	0,20%	0,00%
D3	14,6%	0,00%	75,70%	24,30%	0,00%
Media		0,41%	82,31%	17,28%	0,00%

### II.2.5. CE3

Este programa informático fue desarrollado por APPLUS NORCONTROL S.L.U. [6], siendo válido como procedimiento simplificado para viviendas, edificios del pequeño y mediano terciario y edificios del gran terciario, ya que está reconocido como método simplificado a tal efecto por el Ministerio [w-6]. Posee módulos específicos para cada uno de los tipos de edificios mencionados.

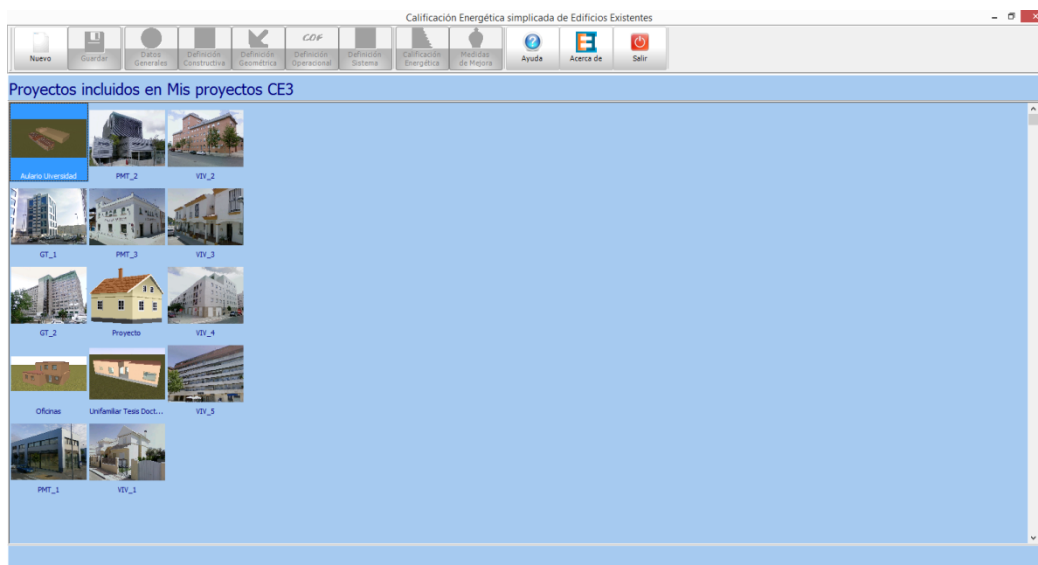


Figura II.7.- Imagen de programa CE3.

El procedimiento simplificado de certificación de edificios existentes y el programa informático que lo acompaña CE3 es por tanto aplicable a todo tipo de edificio existente excepto para aquellos que dispongan de componentes, elementos, equipos o sistemas no incluidos en el programa de referencia CALENER.

### Estructura del programa

El procedimiento simplificado no solo conlleva el uso de CE3, sino que también conlleva una toma previa de datos con los que poder calificar la vivienda.

La estructura del programa, en cuanto a pasos a seguir en su ejecución, la podemos observar en la figura II.8.

En ella se detallan las etapas que posteriormente se describen.

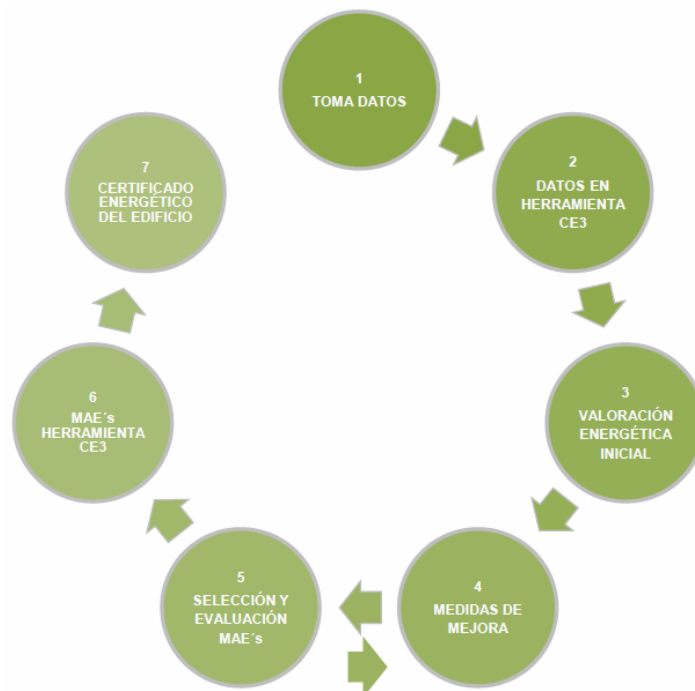


Figura II.8.- Fases del procedimiento simplificado CE3.

#### Toma de datos

Es de elevada importancia el conocimiento y experiencia del técnico sobre el estado del edificio a certificar, dependiendo de ello el resultado final de la calificación energética y su veracidad.

Esto depende a su vez en gran medida de que el proceso de toma de datos sea lo más exhaustivo y riguroso posible. La inspección visual del estado actual del edificio será la fuente de información más fiable posible.

#### Datos en herramienta CE3

Dada la gran diversidad y variedad de situaciones posibles al recoger los datos de entrada (características edificatorias, constructivas y sistemas de climatización y de ACS) para certificar

edificios existentes, el programa permite una flexibilidad a la hora de recopilar e integrar estos datos.

El programa CE3 admite la introducción de datos con distinto nivel de detalle o, caso de no desearse, propone valores orientativos que se cargan por defecto con objeto de ser utilizados cuando no se disponga de la información pertinente.

La introducción de datos en CE3 recoge pues, distintas modalidades en virtud del grado de detalle que se desee utilizar en este. La forma de introducción viene marcada por:

- Tipología: simplemente describiendo tipo de edificio obtenemos los datos.
- Por superficies y orientaciones: requiere de una definición geométrica del edificio.
- Con ayuda de planos.
- Importación de LÍDER/CALENER.

Por tanto, podemos usar el trabajo realizado en otros programas para la definición constructiva en CE3.

#### Valoración energética inicial

Existe una primera fase en la que se evalúa de manera aproximada la situación energética inicial del edificio e identifica el potencial de mejora que presenta. Para esta evaluación inicial del edificio no es necesaria la toma de datos exhaustiva de las características de la envolvente térmica del edificio y de sus instalaciones, ya que se cargarán valores orientativos por defecto en función de la tipología edificatoria y año de construcción (para las soluciones constructivas de la envolvente) y en función del tipo de sistema o equipo y año de instalación de éstos.

Tras esta evaluación inicial se procede al desglose de todos los términos que posee la situación energética del edificio. Este desglose será inicialmente es por usos y, posteriormente, con identificación de demandas y rendimientos de cada uno de estos usos.

#### Medidas de mejora y su selección

Se procede a la selección de medidas de ahorro energético y del nivel de mejora de cada una de ellas.



En el caso de que el técnico conozca los consumos energéticos del edificio y sus causas, tendrá una relación de medidas de mejora para que elija las que serán objeto del estudio posterior.

La idoneidad de los niveles de mejora dependerá del clima y de la situación inicial del edificio o sus instalaciones. Siempre que sea pertinente, el primer nivel de mejora que se propondrá será el que lleve al componente, al equipo o a la instalación a la eficiencia prescrita por el CTE-HE.

#### Evaluación de medidas de mejora de ahorro energético en CE3

Con la relación de medidas que haya seleccionado el técnico y con los diferentes niveles de mejora que haya elegido para cada una de ellas, CE3 realiza un estudio paramétrico automático que permite la exploración, sin intervención del técnico, de todas las variaciones que originan las medidas seleccionadas.

El estudio paramétrico proporciona, para cada variación, los nuevos indicadores de eficiencia que correspondan al edificio completo.

#### Selección definitiva de mejoras y calificación

Dados los resultados obtenidos, el técnico elegirá una o más combinaciones de las propuestas de mejora. Para que cada una de estas combinaciones sea formalizada, el técnico calificador deberá volver a introducir en el programa las modificaciones en componentes, equipos o sistemas que haya elegido, revisar y corregir los datos de partida que se tomaron por defecto y volver a calificar el edificio.

### **Comparación de los resultados de CE3 frente a los del procedimiento de referencia CALENER**

El Ministerio de Industria, Energía y Turismo, en su web [w-6] recoge un test de comparación de resultados de calificación energética respecto de los obtenidos con el procedimiento de referencia (CALENER).

#### Comparaciones realizadas

##### *Comparaciones relativas a la demanda energética*

Las tipologías edificatorias usadas para las comparaciones han sido 10:

- 2 viviendas unifamiliares.

- 2 viviendas en bloque.
- 3 edificios del pequeño y mediano terciario.
- 3 edificios del gran terciario.

Las combinaciones utilizadas se recogen en la tabla II.7.

Tabla II.7.-Combinaciones estudiadas en ensayos de CE3 - CALENER.

	Variaciones	Descripción			
Programas	2	CALENER		CE3	
Clima	12	A3 A4 B3 B4 C1 C2 C3 C4 D1 D2 D3 E1			
Edif. residencial	4	VU1 VU2 VB1 VB2			
Edif. terciario	6	VYP1 VYP2 VYP3 GT1 GT2 GT3			
	(+6)	VYP1_R VYP2_R VYP3_R GT1_R GT2_R GT3_R			
U Opacos	3	U=2,5	U=1,5	U=0,5	
U Huecos	3	U=5,7	U=3,4	U=1,9	
g Huecos		g=0,8	g=0,6	g=0,4	
Orientación	3	N / S – 0º	N / SO – 45º	E / O – 90º	
Ventilación	3	1,0 ren/h	0,8 ren/h	0,6 ren/h	
P. térmicos	1	$\varphi = 0 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ (sin puentes térmicos)			

En total se han realizado 31.104 simulaciones en CALENER y en CE3.

#### *Comparaciones relativas a los sistemas*

Las zonas climáticas utilizadas para la comparativa referentes a los sistemas han sido las siguientes:

- B4 Sevilla.
- D3 Madrid.
- E1 Burgos.

El total de simulaciones realizadas ha sido de 261 simulaciones por procedimiento (CALENER y CE3), es decir 522 simulaciones.

Los sistemas se comparan en términos de rendimiento medio estacional, COP medio estacional o EER medio estacional, según el caso.

Dado un sistema completamente definido y dimensionado que se utiliza para satisfacer la demanda de un determinado edificio en un clima dado, se compara el rendimiento estacional que

proporcionaría CALENER con el rendimiento estacional proporcionado por el procedimiento simplificado.

Los sistemas utilizados, cuyo listado se puede encontrar en el documento del ministerio previamente mencionado, contemplan una gran diversidad de sistemas para cada tipo de edificio.

#### *Iluminación*

Se ha verificado si el consumo de energía y emisiones asociadas al sistema de iluminación son calculados correctamente por CE3.

Se han realizado simulaciones sobre el edificio VYP1 mencionado en la tabla II.7.

En total se han realizado 27 simulaciones en CALENER y 3 simulaciones en el procedimiento simplificado.

#### *Agua Caliente Sanitaria (ACS)*

La demanda dada por CALENER para viviendas unifamiliares es de 0,90 l/m<sup>2</sup>·día y de 0,66 l/m<sup>2</sup>·día para viviendas en bloque. Se ha verificado que para un edificio con la misma superficie el procedimiento simplificado pronostica consumos energéticos iguales, lo que deriva en una misma demanda y un mismo rendimiento medio estacional del sistema.

La verificación de dicho rendimiento medio estacional de los sistemas de generación de ACS se ha realizado mediante los edificios VU1 de la tabla II.7. para vivienda unifamiliar y VB1 para vivienda en bloque.

El número de simulaciones para edificios de vivienda ha sido 32 en CALENER y 32 en CE3, dando un total de 64.

Al ser editable el nivel de demanda de ACS en CALENER VYP, para edificios terciarios no se realiza verificación del cálculo de dicho nivel en CE3.

#### Resultados sobre el indicador global

A partir de los datos obtenidos de demanda, rendimiento medio de sistemas, consumo de ACS y consumo en iluminación, se calculan los resultados referentes al indicador global de eficiencia energética, indicado en emisiones de dióxido de carbono.

Los resultados se recogen a continuación, tanto para cada zona climática como para el global de las mismas.

Tabla II.8.- Comparaciones de indicador global en viviendas en ensayos de CE3 - CALENER.

Zona Climática	Tipo	CE3 gana una clase de eficiencia	Coincide la clase de eficiencia	CE3 pierde una clase de eficiencia	CE3 pierde dos clases de eficiencia
A3	Unifamiliares	0,48%	77,97%	18,95%	2,60%
	Bloques	0,24%	69,13%	21,08%	9,55%
A4	Unifamiliares	0,48%	76,95%	19,38%	3,20%
	Bloques	0,10%	69,25%	20,94%	9,71%
B3	Unifamiliares	0,48%	79,42%	17,95%	2,15%
	Bloques	0,03%	68,90%	21,68%	9,38%
B4	Unifamiliares	0,43%	83,47%	15,17%	0,92%
	Bloques	0,05%	73,40%	20,18%	6,37%
C1	Unifamiliares	0,50%	90,24%	9,24%	0,01%
	Bloques	0,00%	77,67%	21,55%	0,79%
C2	Unifamiliares	0,25%	83,69%	15,76%	0,31%
	Bloques	0,00%	75,53%	22,79%	1,68%
C3	Unifamiliares	0,10%	86,49%	13,26%	0,15%
	Bloques	0,00%	73,84%	23,92%	2,24%
C4	Unifamiliares	0,21%	87,31%	12,43%	0,05%
	Bloques	0,00%	76,73%	22,06%	1,21%
D1	Unifamiliares	0,18%	88,31%	11,51%	0,00%
	Bloques	0,00%	74,54%	24,82%	0,64%
D2	Unifamiliares	0,12%	91,81%	8,06%	0,00%
	Bloques	0,00%	81,12%	18,52%	0,37%
D3	Unifamiliares	0,19%	87,26%	12,53%	0,02%
	Bloques	0,00%	78,76%	20,38%	0,86%
E1	Unifamiliares	0,13%	88,25%	11,61%	0,01%
	Bloques	0,00%	72,98%	25,65%	1,37%
Media	Unifamiliares	0,30%	85,10%	13,82%	0,79%
	Bloques	0,04%	74,32%	21,96%	3,68%

En el caso de terciarios, según los tests comparativos del Ministerio, al ser el motor de cálculo para el cálculo de demanda y de sistemas el mismo que para el pequeño y mediano terciario, los resultados son equivalentes.

Por último, se compara la calificación final obtenida en la tabla II.9.

Tabla II.9.- Comparaciones de indicador global en edificios terciarios en ensayos de CE3 - CALENER.

Zona Climática	CE3 gana una clase de eficiencia	Coincide la clase de eficiencia	CE3 pierde una clase de eficiencia	CE3 pierde dos clases de eficiencia
A3	0,01%	66,47%	33,46%	0,06%
A4	0,14%	70,45%	29,38%	0,02%
B3	1,05%	64,19%	33,64%	1,11%
B4	0,05%	70,72%	29,22%	0,01%
C1	0,50%	49,67%	35,72%	14,12%
C2	2,48%	60,26%	33,99%	3,27%
C3	2,28%	62,74%	33,11%	1,87%
C4	1,19%	60,46%	35,47%	2,88%
D1	0,59%	53,68%	37,32%	8,41%
D2	3,18%	61,82%	32,68%	2,32%
D3	2,55%	62,30%	33,06%	2,10%
E1	3,72%	62,83%	31,66%	1,79%
Media	1,48%	62,13%	33,23%	3,16%

### II.2.6. CE3X

Este procedimiento de certificación, procedimiento simplificado desarrollado por Natural Climate Systems SA. (UTE MIYABI-FUNDACIÓN CENER) [7], obtiene la calificación energética según la escala vista anteriormente [w-7].

No posee relación con CE3, salvo que ambos proceden de una licitación pública para de contratación de servicios con idéntico objetivo: la elaboración de procedimientos de Certificación Energética para Edificios Existentes

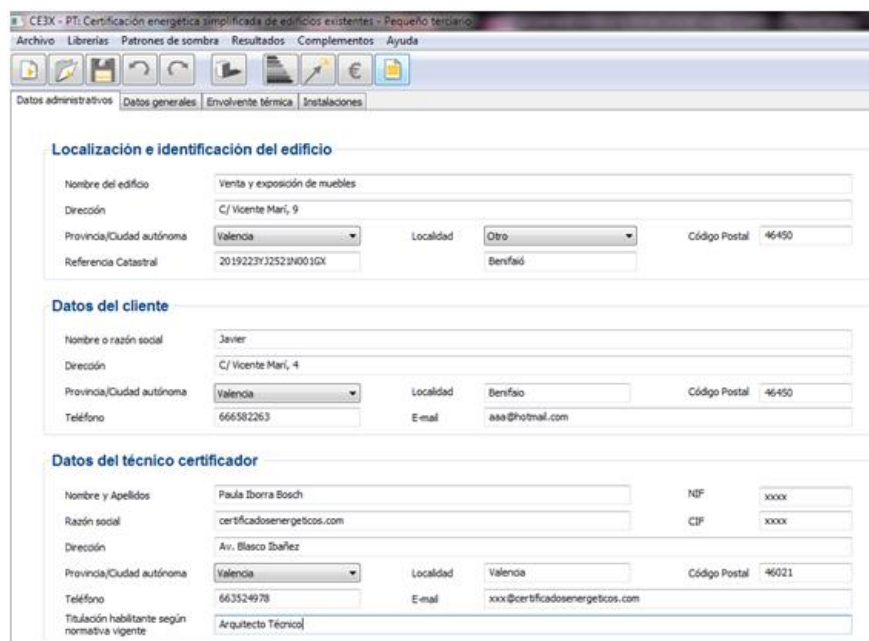


Figura II.9.- Imagen de programa CE3X.

Incorpora una serie de conjuntos de medidas de mejora de eficiencia energética y la nueva calificación e impacto económico (basado en los ahorros energéticos estimados por la herramienta o las facturas de consumo de energía) de la acción de aplicar dicho conjunto de medidas.

El procedimiento de certificación o calificación se desarrolla en CE3X según el siguiente esquema:

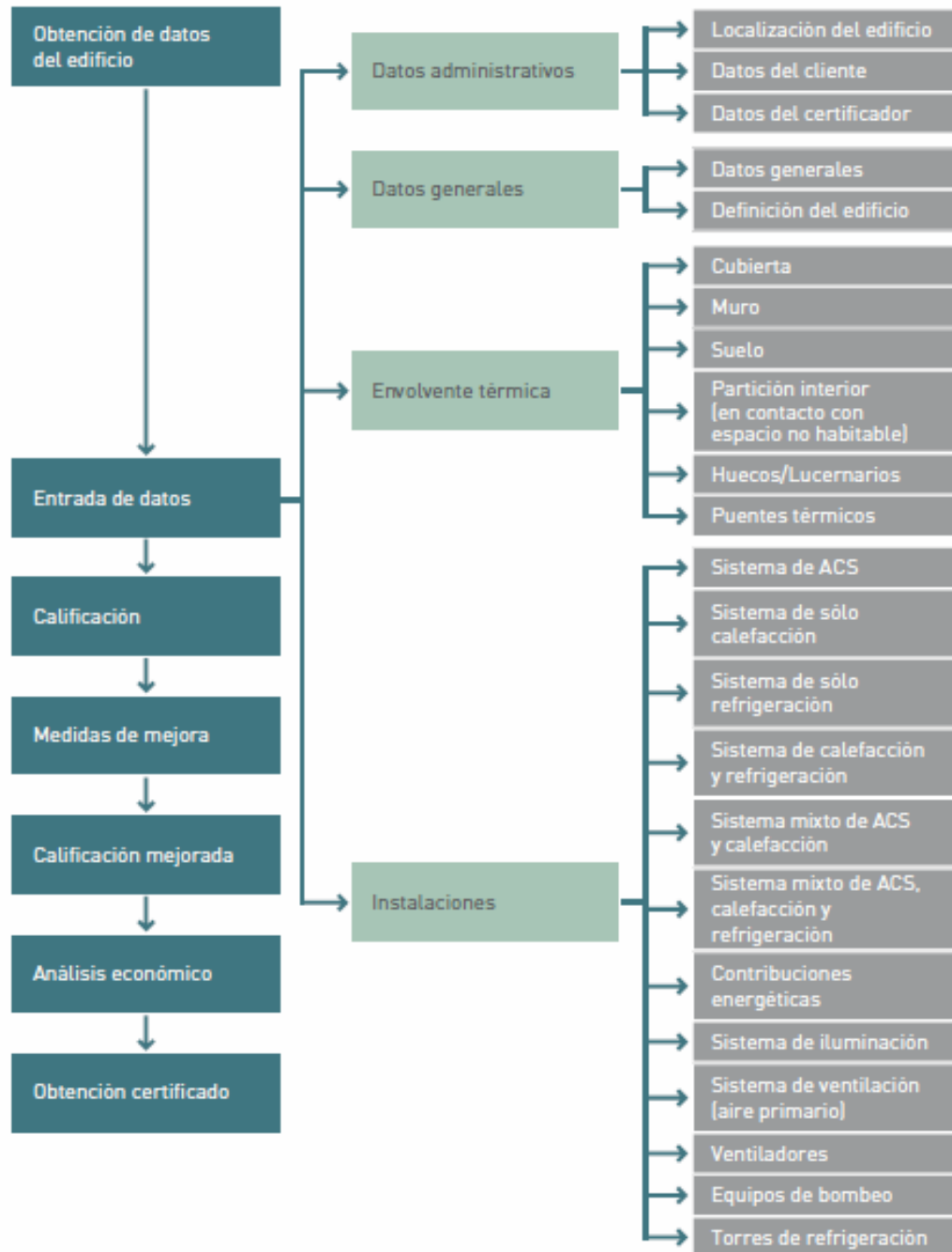


Figura II.10.- Estructura de funcionamiento de CE3X.

El programa se basa en la comparación del edificio objeto de certificación y una base de datos que ha sido elaborada para cada una de las ciudades representativas de las zonas climáticas (base realizada con los resultados obtenidos de un gran número de simulaciones con CALENER). La base de datos es lo suficientemente amplia para cubrir cualquier caso del parque edificatorio español.

El usuario introduce el edificio objeto, y el programa procede a parametrizar sus variables y las compara con las variables características de los casos de la base de datos. De esta forma, CE3X busca simulaciones con mayores similitudes en las características a las del edificio objeto e interpola respecto a ellas las demandas de calefacción y refrigeración, obteniendo así las demandas de calefacción y refrigeración del mismo.

### **Obtención de datos del edificio y entrada de datos**

CE3X se inicia con la recogida de datos, que definirá el comportamiento térmico del edificio existente y la eficiencia de sus instalaciones térmicas. Esta recogida de datos nos aportará lo necesario a introducir en la aplicación informática.

La introducción de datos poseerá distintos niveles, según sea nuestro conocimiento del edificio y sus características:

- **Valores por defecto:** usados en edificios en los que se desconozca las características térmicas de cerramientos y demás parámetros que afectan a su eficiencia energética. Suelen ser valores establecidos por la normativa térmica vigente durante el desarrollo del proyecto, y por tanto, garantizan las calidades térmicas mínimas de los diferentes elementos que componen la envolvente.
- **Valores estimados:** se obtienen de un valor conocido (normalmente composición de cerramientos) y de otros valores que son conservadores, definidos a partir de las características del elemento, lo que implica que son válidos para todos aquellos elementos similares o con propiedades más favorables.
- **Valores conocidos:** los valores conocidos o justificados obtenidos directamente, como por ejemplo del propio proyecto original o de sus reformas, o de cualquier otro documento que justifique el dato solicitado.

La introducción de datos se realiza mediante la pantalla principal en su panel de introducción de datos. Se introducirán los datos necesarios para la certificación del edificio existente en las distintas pestañas que aparecen en CE3X:

- Datos administrativos: información administrativa relativa al proyecto que no influye en la calificación.
- Datos generales: información fundamental para la calificación del edificio.
- Envolvente térmica: desde esta pestaña se puede acceder a los paneles de introducción de datos de los distintos elementos que componen la envolvente térmica (cubiertas, muros, suelos, particiones interiores en contacto con espacios no habitados, huecos y puentes térmicos).
- Instalaciones: paneles de introducción de sistemas de ACS, calefacción, refrigeración, contribuciones energéticas y en los casos de edificio terciario iluminación, aire primario, ventiladores, sistemas de bombeo y torres de refrigeración.

#### **Calificación energética, medidas de ahorro y análisis económico**

Las pestañas de resultados e introducción de datos referentes a las diferentes medidas de mejora y análisis económico de dichas medidas se añadirán a las pestañas iniciales mencionadas en el punto anterior según el técnico las vaya incorporando.

Estas nuevas pestañas, que se incorporarán previamente a la emisión del informe final, serán:

- Calificación energética: obtención del resultado de calificación energética en función de las características del edificio existente.
- Medidas de mejora: permite la aplicación de modificaciones en la envolvente e instalaciones para mejorar su calificación final.
- Análisis económico: en esta pestaña se pueden introducir los datos de facturas energéticas del edificio, definición de los datos económicos y valoración económica de las distintas medidas de mejora introducidas previamente,.

Visto este resumen de pestañas de resultados en CE3X, y sin entrar en una mayor profundidad, se plantea el desarrollo de qué datos nos aporta la calificación energética obtenida:



- Calificación del edificio objeto: valor de calificación energética obtenido por el edificio estudiado. Dicho valor y su letra se mostrarán situados junto a la escala de calificación a la altura de la letra correspondiente.
- Datos del edificio objeto:
  - Demanda de calefacción (kWh/m<sup>2</sup>): necesidades de calefacción del edificio a lo largo del año, para unas condiciones normales de funcionamiento y ocupación.
  - Demanda de refrigeración (kWh/m<sup>2</sup>): necesidades de refrigeración del edificio a lo largo del año, para unas condiciones normales de funcionamiento y ocupación.
  - Emisiones de calefacción (kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>): emisiones del edificio debidas a la demanda de calefacción y la eficiencia de las instalaciones que aportan calefacción a lo largo del año.
  - Emisiones de refrigeración (kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>): emisiones del edificio debidas a la demanda de refrigeración y la eficiencia de las instalaciones que aportan refrigeración a lo largo del año.
- Emisiones de ACS (kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>): emisiones del edificio debidas a la demanda de ACS y la eficiencia de las instalaciones que aportan ACS a lo largo del año.
- Emisiones de iluminación (kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>): emisiones del edificio debidas a la iluminación del edificio y la eficiencia de las instalaciones que aportan iluminación a lo largo del año. Este tipo de emisiones sólo se considerará para la certificación de edificios de uso terciario.

### **Comparación de los resultados de CE3X frente a los del procedimiento de referencia CALENER**

El Ministerio de Industria, Energía y Turismo, en su web [w-6] publica el test de comparación de resultados, como en el caso de CERMA y de CE3, de calificación energética respecto de CALENER.

Comparaciones realizadas*Comparaciones relativas a la demanda energética*

Las tipologías edificatorias usadas para las comparaciones han sido 10:

- 2 viviendas unifamiliares
- 2 viviendas en bloque
- 3 edificios del pequeño y mediano terciario
- 3 edificios del gran terciario

Las combinaciones utilizadas se recogen en la tabla II.10.

Tabla II.10.-Combinaciones estudiadas en ensayos de CE3X - CALENER.

	Variaciones	Descripción		
Programas	2	CALENER	CEX	
Clima	12	A3 A4 B3 B4 C1 C2 C3 C4 D1 D2 D3 E1		
Edif. residencial	4	VU1 VU2 VB1 VB2		
Edif. terciario	6 (+6)	VYP1 VYP2 VYP3 GT1 GT2 GT3 VYP1_R VYP2_R VYP3_R GT1_R GT2_R GT3_R		
U Opacos	3	U=2,5	U=1,5	U=0,5
U Huecos	3	U=5,7	U=3,4	U=1,9
g Huecos		g=0,8	g=0,6	g=0,4
Orientación	3	N / S - 0°	N / SO - 45°	E / O - 90°
Ventilación	1	1,0 ren/h	0,8 ren/h	0,6 ren/h
P. térmicos	3	$\varphi = 0 \text{ W/m}\cdot\text{K}$	$\varphi = \text{defecto}$	$\varphi = \text{defecto} \times 2$

En total se han realizado 31.104 simulaciones en CALENER y 31.104 simulaciones en CE3X.

*Comparaciones relativas a los sistemas*

Los edificios estudiados están ubicados en las siguientes zonas climáticas:

- B4 Sevilla
- D3 Madrid
- E1 Burgos

Al igual que en CE3, el total de simulaciones realizadas ha sido 522, 261 por procedimiento (CALENER y CE3X).

Los sistemas se comparan en términos de rendimiento medio estacional, COP medio estacional o EER medio estacional.

Los sistemas utilizados contemplan una gran diversidad de sistemas para cada tipo de edificio. Dichos sistemas se encuentran en un listado en el documento del ministerio previamente mencionado.

#### *Iluminación*

Se ha verificado el consumo de energía y las emisiones asociadas a este, calculadas en CE3X, realizando un total de 27 simulaciones en CALENER y 3 en CE3X sobre el edificio VYP1.

#### *Agua Caliente Sanitaria (ACS)*

La demanda de ACS en CALENER para viviendas unifamiliares y en bloque son de 0,90 l/m<sup>2</sup>-día y de 0,66 l/m<sup>2</sup>-día respectivamente.

Se ha verificado que para un edificio con la misma superficie (32 simulaciones en CALENER y 32 en CE3X en los edificios VU1 de la tabla II.10. para vivienda unifamiliar y VB1 para vivienda en bloque) que el procedimiento simplificado pronostica consumos energéticos iguales, lo que deriva en una misma demanda y un mismo rendimiento medio estacional del sistema.

Al igual que en CE3, no se realiza verificación del cálculo del nivel de demanda de ACS en CALENER VYP, al ser editable para edificios terciarios.

#### Resultados sobre el indicador global

A partir de los datos obtenidos se calcula el indicador global de eficiencia energética, indicado en emisiones de CO<sub>2</sub>.

Los resultados se muestran en la tabla II.11.

Tabla II.11.- Comparaciones de indicador global en viviendas en ensayos de CE3X - CALENER.

Zona Climática	Tipo	CE3X gana una clase de eficiencia	Coincide la clase de eficiencia	CE3X pierde una clase de eficiencia	CE3X pierde dos clases de eficiencia
A3	Unifamiliares	0,04%	66,66%	24,85%	8,45%
	Bloques	0,35%	62,35%	18,63%	18,67%
A4	Unifamiliares	0,02%	62,82%	23,85%	13,31%
	Bloques	0,15%	59,86%	18,42%	21,57%
B3	Unifamiliares	0,32%	73,41%	20,89%	5,38%
	Bloques	0,32%	63,52%	17,24%	18,92%
B4	Unifamiliares	0,02%	71,19%	23,35%	5,44%
	Bloques	0,09%	63,07%	16,54%	20,30%
C1	Unifamiliares	0,40%	80,31%	17,57%	1,72%
	Bloques	0,43%	67,49%	19,19%	12,89%
C2	Unifamiliares	0,51%	76,18%	20,02%	3,29%
	Bloques	0,00%	75,53%	22,79%	1,68%
C3	Unifamiliares	0,13%	80,04%	17,86%	1,96%
	Bloques	0,26%	66,11%	17,94%	15,69%
C4	Unifamiliares	0,24%	80,06%	18,30%	1,40%
	Bloques	0,21%	69,24%	18,39%	12,17%
D1	Unifamiliares	0,57%	83,46%	15,34%	0,63%
	Bloques	0,36%	67,18%	21,62%	10,84%
D2	Unifamiliares	0,27%	87,47%	11,77%	0,49%
	Bloques	0,29%	75,53%	16,44%	7,75%
D3	Unifamiliares	0,46%	80,27%	17,88%	1,39%
	Bloques	0,32%	71,85%	18,52%	9,31%
E1	Unifamiliares	0,78%	86,92%	11,78%	0,52%
	Bloques	0,37%	68,26%	20,16%	11,22%
Media	Unifamiliares	0,31%	77,40%	18,62%	3,66%
	Bloques	0,29%	66,55%	18,57%	14,59%

Tabla II.12.- Comparaciones de indicador global en pequeños y medianos terciarios en CE3X - CALENER.

Zona Climática	CE3X gana una clase de eficiencia	Coincide la clase de eficiencia	CE3X pierde una clase de eficiencia	CE3X pierde dos clases de eficiencia
A3	0.10%	70.47%	29.41%	0.02%
A4	0.00%	64.27%	35.61%	0.11%
B3	0.00%	53.26%	45.02%	1.73%
B4	0.00%	54.88%	44.41%	0.71%
C1	0.03%	62.77%	36.74%	0.47%
C2	0.03%	62.22%	37.16%	0.59%
C3	0.03%	58.23%	39.84%	1.91%
C4	0.45%	63.78%	34.82%	0.95%
D1	0.53%	60.51%	36.61%	2.35%
D2	0.16%	58.29%	38.69%	2.86%
D3	0.10%	61.28%	37.42%	1.19%
E1	0.06%	46.43%	36.83%	16.68%
Media	0,12%	59,70%	32,71%	2,46%

Tabla II.13.- Comparaciones de indicador global en grandes terciarios de CE3X - CALENER.

Zona Climática	CE3X gana una clase de eficiencia	Coincide la clase de eficiencia	CE3X pierde una clase de eficiencia	CE3X pierde dos clases de eficiencia
A3	0.67%	67.46%	31.57%	0.31%
A4	0.05%	65.81%	33.98%	0.16%
B3	0.00%	52.23%	45.57%	2.20%
B4	0.00%	52.00%	46.30%	1.70%
C1	0.42%	69.02%	30.45%	0.12%
C2	0.03%	62.86%	36.62%	0.49%
C3	0.05%	60.71%	38.08%	1.15%
C4	0.16%	64.97%	34.45%	0.42%
D1	0.11%	59.60%	38.40%	1.89%
D2	0.03%	57.04%	40.29%	2.63%
D3	0.00%	56.79%	41.48%	1.72%
E1	0.02%	44.40%	36.08%	19.50%
Media	0,13%	59,41%	37,77%	2,69%

### Comparación entre las aplicaciones CE3 y CE3x

Ambos procedimientos, son programas reconocidos por el Ministerio de Industria, Energía, Turismo y de Fomento para la certificación energética de edificios existentes, y aprobados en el Real Decreto 235/2013.

CE3 y CE3X se diferencian en la forma y criterios de introducción de datos. Sin embargo, presentan una gran uniformidad en la presentación de resultados.

Vistos ya los tests comparativos con CALENER publicados por el Ministerio de Industria, Energía y Turismo, podemos comparar ambos entre sí.

Se comparan a continuación las calificaciones calculadas con CE3X y CE3 respecto a las que habríamos obtenido usando CALENER.

Para viviendas unifamiliares, obtenemos:

Tabla II.14.- Comparaciones de indicador global en unifamiliares CE3 – CE3X.

	Gana 1 letra	Misma letra	Pierde 1 letra	Pierde 2 letras
CE3X	0,31 %	77,40 %	18,62 %	3,66 %
CE3	0,30 %	85,10 %	13,82 %	0,79 %

La aplicación CE3 obtiene resultados con mayor similitud respecto de CALENER que CE3X.

En el caso de viviendas en bloque:

Tabla II.15.- Comparaciones de indicador global en viviendas en bloque CE3 – CE3X.

	Gana 1 letra	Misma letra	Pierde 1 letra	Pierde 2 letras
CE3X	0,29 %	66,55 %	18,57 %	14,59 %
CE3	0,04 %	74,32 %	21,96 %	3,68 %

La aplicación CE3 obtiene calificaciones con mayor similitud a CALENER que CE3X.

En el caso de pequeño y mediano terciario:

Tabla II.16.- Comparaciones de indicador global en pequeños y medianos terciarios CE3 – CE3X.

	Gana 1 letra	Misma letra	Pierde 1 letra	Pierde 2 letras
CE3X	0,12 %	59,70 %	37,71 %	2,46 %
CE3	0,80 %	59,28 %	36,15 %	3,76 %

Los resultados obtenidos por ambas aplicaciones son muy parecidos y con igual similitud o exactitud respecto de CALENER.

En el caso de gran terciario:

Tabla II.17.- Comparaciones de indicador global en gran terciario CE3 – CE3X.

	Gana 1 letra	Misma letra	Pierde 1 letra	Pierde 2 letras
CE3X	0,13 %	59,41 %	37,77 %	2,69 %
CE3	0,44 %	45,65 %	32,75 %	21,17 %

La aplicación CE3X obtiene estadísticamente mejores calificaciones en cuanto a similitud con CALENER o exactitud que CE3.

Podemos deducir que con CE3 obtendríamos resultados con mayor fiabilidad que CE3X en unifamiliares y viviendas en bloque, de la misma fiabilidad en pequeños y medianos terciarios y una menor fiabilidad en gran terciario.

Dada la necesidad de escoger un criterio uniforme en el tipo de comparación, se debe optar en esta tesis por el uso de una aplicación con la que comparar. La mayoría de casos estudiados se dan en unifamiliar y pequeño y mediano terciario, con lo que parece más factible desde este punto de vista usar CE3 en la comparación.

Por otro lado, CE3, a diferencia de CE3X, permite la incorporación de la envolvente mediante ficheros importados de LIDER o CALENER. Esto nos permite una definición más exacta de nuestro edificio y utilizar la exportación de CYPE a CALENER y la importación en CE3 del fichero CALENER (CYPE -> CALENER -> CE3) como pasarela para mantener los mismos criterios de diseño y cálculo entre nuestro método de referencia y el procedimiento simplificado.

Por tanto, y aunque el CE3X suele usarse en la práctica en más del 90% de las certificaciones, siendo el programa de mejor valoración por los técnicos en España [8], se optará por el uso de CE3 en las comparaciones planteadas en esta tesis.

### **II.2.7. TRNSYS**

#### **Descripción**

TRNSYS [w-10] es un software basado en un entorno gráfico muy flexible, usado para realizar simulaciones del comportamiento de sistemas en régimen transitorio.

Posee un reconocimiento nacional, siendo utilizado de forma habitual por universidades y expertos [9], e internacional como herramienta de simulación energética en edificios, dada su versatilidad en los sistemas susceptibles de estudio [10][11].

Fue desarrollado en la Universidad de Wisconsin en 1975, para el estudio de sistemas con energía solar, y ha ido evolucionando a través de distintos centros de investigación de EEUU, Alemania, Francia y otros países.

TRNSYS es un software muy adecuado para el diseño, optimización y análisis de sistemas en régimen transitorio, esto es, que varían con el tiempo.

Para generar un proyecto en TRNSYS se conectan gráficamente los componentes del sistema (TPEs) por medio del interfaz visual "Simulation Studio". Cada uno de los Tpes se describe con un modelo matemático (mediante lenguaje de programación Fortran) y lleva

asociado un *Proforma* en el *Simulation Studio*. Éste describe el componente como una caja negra por medio de entradas, salidas y parámetros. Las salidas de cada componente actúan como entradas de otro.

La última versión de TRNSYS en el momento de redactar esta tesis es TRNSYS 17.

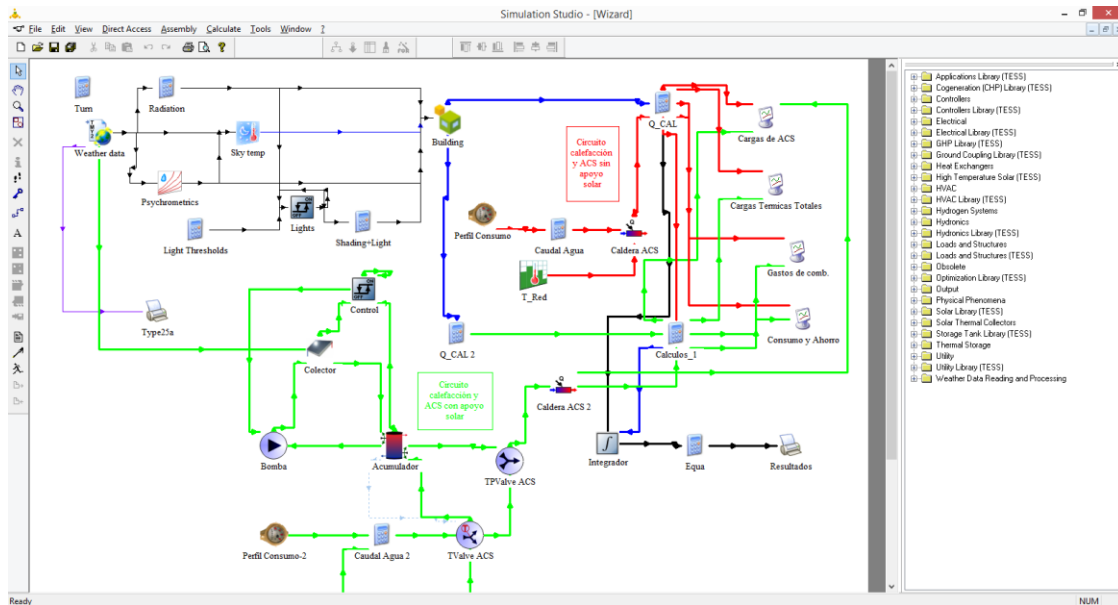


Figura II.11.- Imagen del programa TRNSYS.

## Funcionamiento

### Integración con Google Sketch UP

Con la versión de TRNSYS17 está disponible el plug-in para Sketch Up, que facilita la inserción del modelo geométrico del edificio en TRNSYS a partir de su modelo 3D. A través de este plug-in se lleva a cabo la descripción del edificio con mayor rapidez y facilidad que en anteriores versiones de TRNSYS.

Sketch Up creará un fichero importable en TRNSYS 17, en el cual se debe generar un proyecto nuevo como 3D Building Project y se pide el fichero (de extensión IDF) creado en Sketch UP. De esta forma se genera un fichero de TRNSYS cuyo TYPE llamado Building es editable con la aplicación instalada con el propio TRNSYS, llamada TRNBuild.

En TRNBuild podemos editar todas las características del edificio, en cuanto a cerramientos y sistemas básicos. Estos sistemas, si bien no dan cumplida cuenta de la mayoría de casos de estudio, si dan una cobertura básica, ampliable con distintos componentes que se pueden ir añadiendo en TRNSYS, según se describió previamente, como TYPE.



### Motor e interfaz

Esencialmente, TRNSYS basa su motor de cálculo (llamado Kernel) en resolver ecuaciones algebraicas y diferenciales, siendo capaz de leer y procesar un archivo de datos de entrada de texto, resolviendo el sistema iterativamente, determinando la convergencia y representando las variables que se desea analizar.

A su vez, la interfaz gráfica es muy sencilla, pudiéndose ensamblar componentes para simular un sistema complejo de forma simple y parecida a como se haría en la realidad.

### Representación de resultados

Los usuarios pueden ver la evolución de cualquier variable en una gráfica conforme avanza la simulación.

Existen herramientas que permiten la integración de valores, su exportación a Excel, o la exportación de resultados a un archivo de extensión txt.

### Componentes

TRNSYS tiene una extensa biblioteca de componentes. Cada componente modela el comportamiento de una parte del sistema.

La biblioteca estándar incluye aproximadamente 150 modelos, desde bombas a aerogeneradores, electrolizadores, procesadores de datos meteorológicos u otros equipos.

Dado que la estructura de todos los componentes es la misma, y que la distribución de TRNSYS se realiza con su código fuente, los usuarios pueden desarrollar sus propios modelos, expandiendo las posibilidades del programa para adaptarse a sus necesidades.

Los componentes en TRNSYS se identifican con un número de TYPE específico, que hace referencia a la subrutina de FORTRAN correspondiente.

La biblioteca TRNSYS incluye muchos de los componentes que se encuentran comúnmente en los sistemas de energía térmica y eléctrica, así como rutinas de componentes para manejar la entrada de datos meteorológicos u otras funciones.

## **II.2.8. EnergyPlus**

EnergyPlus [w-11], , al igual que TRNSYS, posee un prestigio y reconocimiento internacional, siendo herramienta de trabajo habitual para expertos en estudios energéticos [12].

Es un software de estudio energético gestionado por el Departamento de la Energía de Estados Unidos (U.S. Department of Energy) [w-12]. Tiene sus raíces tanto en el programa BLAST como en DOE-2, como ya se mencionó previamente. BLAST (Building Loads Analysis and System Thermodynamics) y DOE-2 fueron desarrollados y puestos a disposición de sus usuarios entre finales de 1970 y principios de 1980, como herramientas de simulación energética.

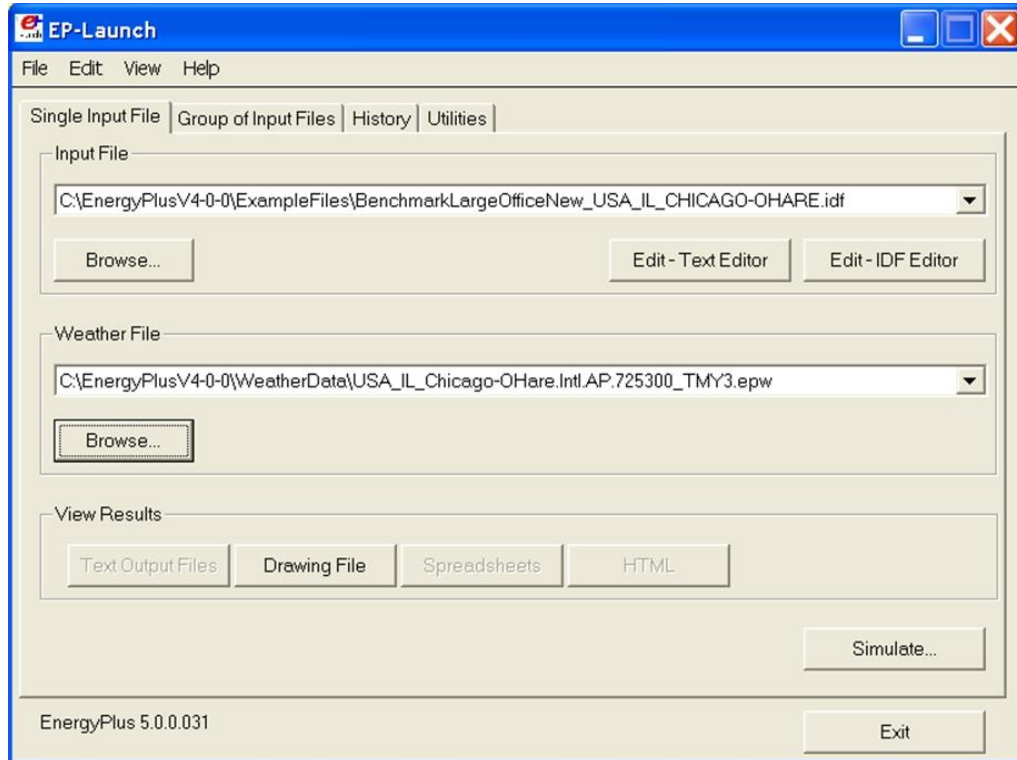


Figura II.12.- Imagen del programa EnergyPlus.

Al igual que BLAST Y DOE-2, EnergyPlus es un programa de análisis energético y simulación de carga térmica. Basándose en la descripción del edificio desde un punto de vista de sus elementos constructivos, sistemas energeticos asociados, etc., EnergyPlus calcula la cargas de calefacción y refrigeración necesarias para mantener las condiciones de confort térmico, condiciones de refrigeración del sistema secundario de climatización, y el consumo de energía en los equipos de generación, así como muchos otros detalles.

Muchas de las características de simulación de EnergyPlus se han heredado de los programas BLAST y DOE-2. A continuación podemos ver una lista de algunas de las características de la primera versión de EnergyPlus (la actual es la versión 8.3):

- Aporta una solución integrada y simultánea, donde la respuesta del edificio, del sistema primario y sistemas secundarios están estrechamente acoplados.

- El espacio de tiempo usado como paso de iteración para el cálculo de la interacción entre las zonas térmicas y el medio ambiente es definido por el usuario. Por otro lado, los pasos de tiempo para las interacciones entre las zonas térmicas y los sistemas de HVAC se varían automáticamente para garantizar la estabilidad de las soluciones.
- Utiliza ficheros de texto ASCII para la climatología, entrada y salida, que incluyen por hora o sub-horas las condiciones ambientales, y los informes estándar definidos por el usuario.
- Solución basada en el balance de calor para las cargas térmicas del edificio que permite el cálculo simultáneo de los efectos radiantes y convectivos, tanto en el interior como en la superficie exterior durante cada iteración de tiempo.
- Mejora del modelado de transferencia de calor a través del suelo mediante llamadas a análisis en modelos 3D de suelo y técnicas de análisis simplificadas.
- Modelo de transferencia de calor y masa combinados para el estudio de la adsorción o desorción de humedad, ya sea como una integración capa a capa en la función de transferencia por conducción o como un modelo de penetración efectiva de la humedad (EMPD).
- Modelos de confort térmico basados en la actividad, temperatura de bulbo seco en el interior, humedad, etc.
- Modelo anisotrópico de cielo para mejorar el cálculo de la energía solar difusa en las superficies inclinadas.
- Cálculo avanzado de las aperturas incluyendo persianas controlables, acristalamientos electrocrómicos, balances térmicos capa a capa que permiten la asignación adecuada de la energía solar absorbida por los cristales de las ventanas, y una biblioteca de rendimientos para numerosas ventanas disponibles comercialmente.
- Controles de iluminación natural, incluyendo cálculos de iluminancia interior, la simulación y control de deslumbramiento, controles de luminarias, y el efecto de la reducción de la iluminación artificial en calefacción y refrigeración.

- Sistemas HVAC con recirculación (convencionales y radiantes) que permiten a los usuarios a modelar sistemas típicos y sistemas ligeramente modificados sin tener que recompilar el código fuente del programa.
- Cálculos que predicen la contaminación atmosférica de CO<sub>2</sub>, SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, CO, partículas, y producción de hidrocarburos, tanto en el lugar como la conversión de energía a distancia.
- Enlaces a otros entornos de simulación populares y componentes como WINDOW5, WINDOW6 y dellIGHT para permitir un análisis más detallado de los componentes constructivos.

Ningún programa es capaz de manejar todas las situaciones que pueden darse en una simulación. Sin embargo, EnergyPlus permite muchas opciones de diseño y construcción de sistemas HVAC ya sea directamente o indirectamente a través de enlaces a otros programas con el fin de calcular las cargas térmicas y / o consumo de energía diario o un período más prolongado (anuales).

Mientras que la primera versión del programa contenía principalmente características que están directamente relacionadas con aspectos térmicos de los edificios, las versiones posteriores abordaron otros temas importantes para la construcción: agua, sistemas eléctricos, etc.

Sin embargo, existen una serie de cualidades que EnergyPlus no posee:

- EnergyPlus no es una interfaz de usuario. Está destinado a ser el motor de simulación, en torno a la que una interfaz de terceros puede ser utilizado. Las entradas y salidas son de texto ASCII, sencillo, descifrado, en formato IDF (Input Data File), pero es mejor usar un GUI (interfaz gráfica de usuario). Este enfoque permite a diseñadores de interfaz hacer herramientas de calidad específicamente dirigidas a los mercados y necesidades individuales.
- EnergyPlus no es una herramienta de análisis de coste del ciclo de vida, aunque sí que aporta resultados que pueden ser utilizados en un programa de análisis de ciclo de vida.
- EnergyPlus no reemplaza al técnico en sus labores de diseño. No comprueba la entrada, ni verifica la aceptabilidad de diversos parámetros (realizada un número limitado de controles muy básicos), ni intenta interpretar resultados. Si bien

muchos programas GUI ayudan al usuario a ajustar y corregir errores de entrada, la calidad de los resultados dados por EnergyPlus dependerá de la calidad de los datos de entrada que aportemos.

Por tanto, se plantea el uso de una interfaz gráfica para manejo de EnergyPlus. Las interfaces gráficas de EnergyPlus habitualmente usadas en España son o están contenidas en:

- Design Builder: actualmente la Universidad de Valladolid posee licencia que exige la conexión al programa desde un ordenador que trabaje con la red de la universidad. Debido a ello, se opta por el uso de CYPE.
- CYPE: la Universidad de Valladolid posee licencia sin necesidad de usar la red de la universidad para el uso del programa.

### **Uso de Cype como interfaz gráfica de EnergyPlus**

CYPECAD MEP es un programa perteneciente a CYPE Ingenieros [w-13] para el diseño y dimensionamiento de la envolvente de un edificio, su distribución y las instalaciones, sobre un modelo 3D integrado con los distintos elementos del edificio.

Se estructura en diferentes solapas interrelacionadas entre sí, en cada una de las cuales podemos proceder al diseño de cerramientos, distribución o instalaciones. Dependiendo del país de ubicación de la obra, CYPECAD MEP realiza diferentes comprobaciones y dimensionamientos.

En las obras creadas para España, CYPECAD MEP dispone de las siguientes aplicaciones:

- Estudio térmico:
  - Ahorro de energía. Cumplimiento del CTE DB HE 0.
  - Ahorro de energía. Cumplimiento del CTE DB HE 1.
  - Procedimiento simplificado para la certificación energética, Ce2.
  - Opción general para la certificación energética, exportación a CALENER VYP.
- Estudio acústico:
  - Protección frente al ruido. CTE DB HR.
  - Aislamiento acústico según EN 12354 (ISO 15712).

- Certificación energética:
  - Exportación al programa CALENER VYP.
  - Certificación energética mediante la opción simplificada, CE2.
- Incendio:
  - Contra incendios (BIEs y rociadores).
  - Seguridad en caso de incendio DB SI.
  - Simulación dinámica de incendios mediante FDS.
- Salubridad:
  - Protección frente a la humedad. DB HS 1.
  - Recogida y evacuación de residuos. DB HS 2.
  - Ventilación (Calidad del aire interior. DB HS 3).
  - Suministro de agua. DB HS 4.
  - Evacuación de aguas. DB HS 5.
- Climatización.
- Energía solar térmica.
- Gas.
- Pararrayos.
- Iluminación.
- Electricidad.
- Telecomunicaciones.

La tipología de edificios susceptibles de ser tratados en CYPECAD MEP son los que aparecen en la tabla II.18.

Tabla II.18.- Comparaciones tipos de edificios que se pueden estudiar en CYPECAD MEP.

Unifamiliar	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí <sup>(4)</sup>
Adosados	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Plurifamiliar	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Locales y oficinas	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí (1) (2)	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Comercial	Sí	Sí	Sí	-	Sí (1) (2)	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	(3)
Administrativo	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí (1) (2)	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	(3)
Residencial	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí (1) (2)	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	(3)
Aparcamiento	Sí	Sí	Sí	-	Sí (1) (2)	Sí	Sí	-	Sí	Sí	Sí	Sí	(3)
Pública concurrencia	Sí	Sí	Sí	-	Sí (1) (2)	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	(3)
Docente	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí (1) (2)	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	(3)
Hospitalario	Sí	Sí	Sí	-	Sí (1) (2)	Sí	Sí	Sí	Sí	-	Sí	Sí	(3)
Industrial	Sí	Sí	-	-	(1) (2)	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	(3)
	Estudio térmico CTE DB HE 1	Estudio acústico CTE DB HR	Cálculo hidráulico	CTE DB SI	Salubridad CTE DB HS 1 DB HS 2 DB HS 3 DB HS 4 DB HS 5	Climatización CTE DB HE 2	Solar térmica CTE DB HE 4	Gas	Pararrayos CTE DB SUA 8	Electricidad	Iluminación CTE DB HE 3 DB SUA 4	ICT	
			Incendio										

(1) La instalación de ventilación de edificios diferentes a viviendas se restringe a sus aparcamientos, ya que el resto del edificio está fuera del ámbito de aplicación del DB HS 3.

(2) Para los edificios con usos diferentes a viviendas, la demostración de la conformidad con las exigencias básicas del DB HS 2 debe realizarse mediante un estudio específico (no realizado por el programa), adoptando criterios análogos a los establecidos para viviendas.

(3) Fuera del ámbito de aplicación del reglamento de Infraestructura Común de Telecomunicaciones.

(4) Aunque las viviendas unifamiliares quedan fuera del ámbito de aplicación del reglamento de Infraestructura Común de Telecomunicaciones, el programa proporciona una solución técnica y su correspondiente proyecto técnico compuesto por: memoria, planos, pliego y presupuesto.

CYPECAD MEP exporta los datos introducidos a EnergyPlus (en su versión 6.0 posteriormente convertibles a la actual versión de EnergyPlus 8.3.) desde las solapas Estudio térmico y Climatización, y también utiliza EnergyPlus como motor de cálculo (versión 6.0) para obtener la demanda térmica de un edificio, compararla con la del edificio de referencia.

#### EnergyPlus, CYPECAD MEP y LIDER

Existen pues, dos posibilidades: la exportación a EnergyPlus o su uso como motor de cálculo en CYPECAD MEP, siendo ambos un complemento para poder realizar el estudio térmico y energético de un edificio.

A su vez, CYPECAD MEP (desde la pestaña de Estudio térmico) también puede exportar al programa LIDER del CTE los datos de los recintos, los elementos constructivos y las sombras. La exportación a LIDER es suficiente para calcular con este programa la demanda energética del edificio así como para poder ser importados en programas como CE3 según se vio en un apartado

anterior. Hay que mencionar, sin embargo, que no todos los elementos son calculables en LIDER con exactitud, como fachadas ventiladas, mientras que CYPECAD MEP puede hacerlo exportando (desde las solapas Estudio térmico y Climatización) a EnergyPlus, de modo que EnergyPlus las tenga en consideración para sus cálculos.

Por tanto, el módulo Exportación a EnergyPlus de CYPECAD MEP es una herramienta idónea para los casos en los que las soluciones constructivas empleadas no puedan ser procesadas por LIDER.

Además, EnergyPlus supera los test de la Agencia Internacional de la Energía (I.E.A.), requisito para la validación de programas alternativos a LIDER.

#### EnergyPlus y CYPECAD MEP

Desde CYPECAD MEP podemos usar EnergyPlus de dos maneras:

- Exportando los datos introducidos a este programa, obteniendo un fichero IDF procesable por EnergyPlus.
- Utilizándolo como motor de cálculo dentro del propio CYPECAD MEP.

Ambas opciones son posibles con el módulo *Exportación a EnergyPlus* y se ejecutan desde la misma opción de programa: menú Archivo > Exportar > EnergyPlus (solapa Estudio térmico o solapa Climatización).

En ambos casos, como se ha mencionado, realiza la exportación generando un fichero en formato IDF (Input Data File) que puede leer EnergyPlus.

La exportación puede realizarse de dos formas:

- Completa para todos los recintos.
- Simplificada: para cada unidad de ocupación en la solapa Estudio térmico, o para cada conjunto de recintos en la solapa Climatización. Esto es, une en el estudio recintos de similares características para obtener demandas conjuntas.

Tras seleccionar la opción deseada, se muestra otro diálogo con una vista 3D del edificio, y un nombre y una ubicación del archivo IDF, dados por defecto, que pueden ser modificados por el usuario.



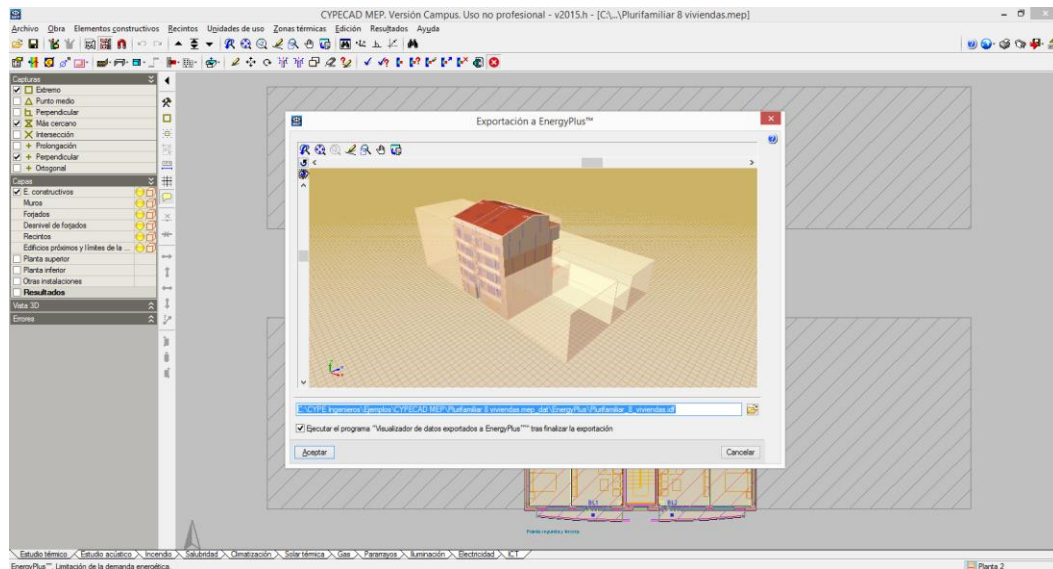


Figura II.13.- Datos de exportación de fichero IDF en EnergyPlus.

Este diálogo también muestra la opción *Ejecutar el programa "Visualizador de datos exportados a EnergyPlus tras finalizar la exportación"*. Si activamos esta opción utilizaremos EnergyPlus como motor de cálculo en CYPECAD MEP. Si no, sólo se genera el fichero IDF que podrá leerse con EnergyPlus.

#### *Exportación a EnergyPlus*

El entorno de trabajo de EnergyPlus está basado en la introducción de datos numéricos, y los resultados se muestran también del mismo modo como ya se ha mencionado.

Si elegimos esta opción, elegiremos CYPECAD MEP como interfaz gráfica para la introducción de datos a EnergyPlus.

La exportación puede realizarse desde las solapas mencionadas de Estudio Térmico y de Climatización. La exportación desde una solapa u otra nos aportará ficheros distintos, ya que desde la solapa de Estudio Térmico se exportará con unos perfiles de usos definidos según el CTE, mientras que en la solapa de Climatización se exportará con unos perfiles de usos definidos según el tipo de espacio, bien sea por el usuario o por defecto por CYPECAD MEP.

#### *EnergyPlus como motor de cálculo en CYPECAD MEP*

El uso de CYPECAD MEP con EnergyPlus como motor de cálculo ofrece a sus usuarios las ventajas de EnergyPlus, sin necesidad de tener que instalarlo independientemente, y permite utilizarlo para generar automáticamente los documentos que permitan justificar el correcto funcionamiento energético y térmico del edificio proyectado.

Cuando se ejecuta la exportación a EnergyPlus, activando la opción Ejecutar el programa “Visualizador de datos exportados a EnergyPlus” tras finalizar la exportación, se pone en funcionamiento esta herramienta, la cual permite utilizar EnergyPlus como motor de cálculo.

El visualizador de datos exportadas a EnergyPlus tiene varias prestaciones, a las que se accede seleccionando los botones situados en la parte superior izquierda del visualizador:

- Botón Vista 3D: Muestra los datos exportados a EnergyPlus tanto para el edificio objeto como para el edificio de referencia.
- Botón Resultados: Calcula con EnergyPlus el edificio objeto y el edificio de referencia y visualiza los resultados obtenidos.
- Botón Listado de demandas: Genera un listado de demandas térmicas del edificio.
- Botón CTE DB HE1 Opción General: Genera un listado justificativo del cumplimiento de la opción General del DB HE1.

#### *Cálculo con EnergyPlus desde el visualizador*

En concreto, es de interés de esta tesis el cálculo de resultados con EnergyPlus como motor.

Con el botón “Resultados” seleccionado el usuario puede calcular la demanda térmica del edificio utilizando el motor de cálculo EnergyPlus previa elección del fichero de climatología de la zona, pudiendo optar por el que viene con el propio CYPECAD MEP o por descargar el que nos aporta el propio EnergyPlus en su web.

Una vez realizado el cálculo, es posible visualizar en pantalla los siguientes datos:

- Porcentaje de la demanda de calefacción de todos los recintos climatizados del edificio para un día seleccionado del año (día de invierno) y de refrigeración para otro día (día de verano), con respecto al día del año de mayor demanda de calefacción o de refrigeración respectivamente.
- Demanda de calefacción y de refrigeración mensual de todos los recintos del edificio.

Un dato importante a tener en cuenta es que, dependiendo de si este cálculo se realiza desde la pestaña de Estudio Térmico o de Climatización, los resultados van a ser distintos. Esto,

que ya se explicó en el apartado anterior, ya que es por el mismo motivo que ocurre con la exportación del fichero IDF, se obtuvo por comparación durante la propia tesis doctoral que se presenta.

La explicación es, como se ha comentado, que los perfiles de usos tomados en la pestaña Estudio Térmico son los dados por el CTE, mientras que en la pestaña de Climatización son los introducidos por el propio usuario, siendo más exactos a cada situación real.

Estos perfiles de uso en Climatización pueden ser los que viene por defecto predefinidos para cada tipo de recinto en CYPECAD MEP o adaptarse a cada caso concreto.

### II.3. REFERENCIAS

- [1] Bazjanac, V.; Crawley, D. Industry foundation classes and interoperable commercial software in support of design of energy efficient buildings. *Proceedings of the Building Simulation'99*. IBSA, Vol. II, , p. 661-668, Kyoto, Japan, Septiembre 2006.
- [2] Licinio Alfaro. The importance of Software to calculate the ability of Architecture to reduce energy demand in buildings. World SB 14 Barcelona. Octubre de 2014.
- [3] Roberto Gutiérrez Revilla. Estudio comparativo de programas de Simulación Térmica de Edificios. Proyecto fin de carrera en la Universidad de Valladolid. Septiembre 2015.
- [4] Asociación técnica española de climatización y refrigeración, Universidad de Valencia. CERMA. V. 2.2 (Software), Valencia, 2011, [www.atecyr.org](http://www.atecyr.org).
- [5] Manuel Carpio, Montserrat Zamorano, Mario Costa. Impact of using biomass boilers on the energy rating and CO2 emissions of Iberian Peninsula residential buildings. Elsevier B.V., 28 de Julio de 2013.
- [6] APPLUS, U., AICIA I CERDÁ, IETcc, REPSOL, Calificación energética de Edificios Existentes, CE3. 1.1 (Software), Madrid, 2013
- [7] CENER, MIYABI, Certificación Energética Simplificada de Edificios Existentes, CEX. 1.1 (Software), Pamplona, 2013.
- [8] Manuel Carpio, María Martín-Morales, Montserrat Zamorano. Comparative study by an expert panel of documents recognized for energy efficiency certification of buildings in Spain. Elsevier B.V., 20 de Abril de 2015.
- [8] Alessandro Gallo, Belén Téllez Molina, Milan Prodanovic, José González Aguilar, Manuel Romero. Analysis of net Zero-Energy Building in Spain. Integration of PV, solar domestic hot water and air-conditioning systems. SHC 2013, International Conference on Solar Heating and Cooling for Buildings and Industry. 23-25 Septiembre de 2013.
- [10] Magdalena Brum, Paul Erickson, Bryan Jenkins, Kurt Kornbluth. comparative study of district and individual energy systems providing electrical-based heating, cooling, and domestic hot water to a low-energy use residential community. Elsevier B.V., 21 de Junio de 2015.
- [11] Roberto De Lieto Vollaro, Matteo Calvesi, Gabriele Battista, Luca Evangelisti, Fabio Botta. Calculation model for optimization design of low impact energy systems for buildings. *SHC 2013, International Conference on Solar Heating and Cooling for Buildings and Industry*. 23-25 Septiembre de 2013.
- [12] A. Boyano, P. Hernández, O.Wolf. Energy demands and potential savings in European office buildings: Case studies based on EnergyPlus simulations. Elsevier B.V.. 27 de Mayo de 2013.

**Páginas web**

[w-1] eQUEST (Quick energy analysis simulation tool). Versión 3.64. 25/08/2014. Disponible en Abril de 2.014 en

<http://www.doe2.com/equest>.

[w-2] AICIA-Grupo de Termotecnia. LIDER (Limitación de la demanda energética). Versión 1.0.2006. Disponible Junio de 2.013 en

<http://www.codigotecnico.org>.

[w-3] Desing Builder Software Limited. DesingBuilder. Versión 1.1.1.2006. Disponible en Mayo de 2.015 en

<http://www.desingbuilder.co.uk>.

[w-4] Square One research Pty Ltd. Ecotect. Versión 5.50.2005. Disponible en Enero de 2.015 en

<http://www.ecotect.com>.

[w-5] Green Building Studio, Inc. GBS web service. Disponible en Marzo de 2.015 en

<http://www.greenbuildingstudio.com>.

[w-6] Programas de certificación reconocidos disponibles en Mayo de 2.015 en

<http://www.minetur.gob.es/energia/desarrollo/EficienciaEnergetica/CertificacionEnergetica/DocumentosReconocidos/Paginas/documentosreconocidos.aspx>

[w-7] IDAE, Escala de calificación energética de edificios existentes, disponible en Mayo de 2.015 en la web del IDAE:

[http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos\\_11261\\_EscalaCalifEnerg\\_EdifExistentes\\_2011\\_accesible\\_c762988d.pdf](http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_11261_EscalaCalifEnerg_EdifExistentes_2011_accesible_c762988d.pdf)

[w-8] IDAE, Escala de calificación energética de edificios de nueva construcción, disponible en Mayo de 2.015 en la web del IDAE:

[http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos\\_CAENER\\_07\\_Escala\\_Calif\\_Energetica\\_A2009\\_A\\_5c0316ea.pdf](http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_CAENER_07_Escala_Calif_Energetica_A2009_A_5c0316ea.pdf)

[w-9] Ministerio de Industria, Energía y Turismo. Nota informativa sobre Procedimiento Transitorio para la Certificación de Eficiencia Energética de 13 de Marzo de 2014. Disponible en Mayo de 2.015 en la web:

[http://www.minetur.gob.es/energia/desarrollo/EficienciaEnergetica/CertificacionEnergetica/DocumentosReconocidos/Documents/20140313\\_Nota\\_Informativa\\_Procedimiento\\_transitorio\\_Certificacion.pdf](http://www.minetur.gob.es/energia/desarrollo/EficienciaEnergetica/CertificacionEnergetica/DocumentosReconocidos/Documents/20140313_Nota_Informativa_Procedimiento_transitorio_Certificacion.pdf)

[w-10] TRNSYS Transient System Simulation Tool disponible en Agosto de 2.014 en

<http://www.trnsys.com>.

[w-11] EnergyPlus disponible en Mayo de 2.014 en

<http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus>

[w-12] U.S. Department of Energy en Mayo de 2.013 en

<http://www.energy.gov>

[w-13] CYPECAD MEP disponible en Enero de 2.013 en CYPE Ingenieros en

<http://www.cype.es>

## **CAPÍTULO III.- PROCEDIMIENTO GENERAL UTILIZADO Y EDIFICIOS DE COMPARACIÓN**

<i>RESUMEN</i> .....	138
<i>ABSTRACT</i> .....	140
<i>III.1. PROCEDIMIENTO GENERAL UTILIZADO</i> .....	142
<i>III.2. INDICADORES ENERGÉTICOS DE ESTUDIO</i> .....	143
<i>III.3. EDIFICIOS DE COMPARACIÓN</i> .....	143
III.3.1. Vivienda unifamiliar .....	144
III.3.2. Edificio de oficinas.....	152
III.3.3. Edificio universitario.....	158





## **RESUMEN**

En el capítulo III se define el procedimiento general utilizado en esta tesis, en cuanto a elementos a estudiar, cálculos a realizar y resultados a obtener.

Se plantean también los pasos a desarrollar para llegar a cálculos idóneos, estructurando así los capítulos restantes de esta tesis.

Dentro de esta estructura, como primera etapa, se definen los edificios que se estudian como muestra representativa del uso de los procedimientos simplificados: unifamiliar, edificio de oficinas y edificio universitario.

Previo a la exposición de estos edificios, se realiza la elección de indicadores mediante los cuales se estudian los resultados obtenidos.



**ABSTRACT**

Chapter III defines the general procedure used in this thesis, in terms of elements to study, calculations and results to obtain.

There are also steps to develop to reach suitable calculations, thus structuring the remaining chapters of this thesis.

Within this structure, as a first stage, the buildings that are studied as a representative sample of the use of the simplified procedures are defined: house, office building and university building.

Prior to the exposure of these buildings, the choice of indicators by which the results are studied is made.



### III.1. PROCEDIMIENTO GENERAL UTILIZADO

Se plantea en esta tesis el estudio comparativo de los “Procedimientos Simplificados para la Certificación Energética de edificios existentes” reconocidos por el Ministerio de Industria, Energía y Turismo con una metodología contrastada para el cálculo de la eficiencia energética en dichos edificios.

Para realizar este estudio habrá que:

- Elegir los edificios que se van a usar para dichas comparaciones.
- Elección de indicadores a obtener.
- Elegir la metodología de cálculo de referencia contrastada para todos los edificios, la cual debe ser única.
- Elegir los procedimientos simplificados reconocidos por el Ministerio con los que comparar cada tipo de edificio.

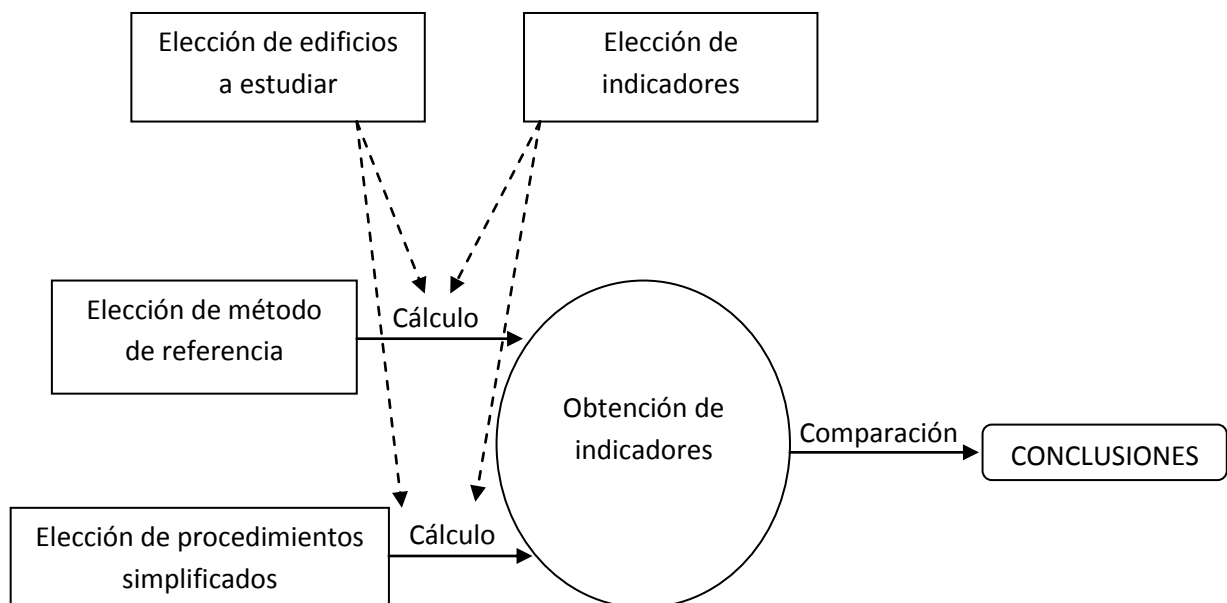


Figura III.1.- Esquema general del procedimiento seguido en los cálculos.

### **III.2. INDICADORES ENERGÉTICOS DE ESTUDIO**

No se pretende el uso de un número elevado de indicadores, sino todo lo contrario, en base a una cantidad reducida de estos, obtener estudios dependientes de casos y comparaciones entre indicadores.

Se opta por el estudio de:

- Demanda energética del edificio.
- Consumo energético del edificio.
- Emisiones de CO<sub>2</sub> del edificio.

El estudio y comparación de los anteriores indicadores es el objetivo final del uso de los distintos programas informáticos y procedimientos aplicados en esta tesis.

### **III.3. EDIFICIOS DE COMPARACIÓN**

Se plantea el uso de 3 tipos de edificios:

- Vivienda unifamiliar.
- Edificio de oficinas.
- Edificio universitario.

Esta elección se lleva a cabo para poder contemplar así un uso residencial, un uso terciario de un reducido tamaño y un uso terciario de un tamaño mayor, abarcando una diversidad de edificios en cuanto a las posibles comparaciones a efectuar entre análisis de eficiencia energética.

El tratamiento del aula se llevará a cabo como gran terciario, si bien no es necesario dada la baja complejidad de los sistemas de calefacción y refrigeración utilizados, pudiendo ser tratado como pequeño y mediano terciario. Sin embargo, el estudio del edificio universitario como gran terciario, nos permitirá extender el análisis de edificios a la misma división realizada en los procedimientos generales de la normativa española, entre CALENER VYP (uso residencial y pequeño y mediano terciario) y CALENER GT (gran terciario). Esta distinción también es utilizada en cuanto al uso de motores de cálculo distintos en los procedimientos simplificados CE3 y CE3X.

### III.3.1. Vivienda unifamiliar

La vivienda unifamiliar objeto de estudio está ubicada en Sanlúcar de Barrameda (Cádiz), en la dirección c/ Fray Isidoro de Sevilla 13. En dicha dirección existen dos viviendas dentro de la misma parcela, separadas por una piscina.

Se estudia aquí la vivienda situada en la imagen en la esquina inferior derecha.



Figura III.2.-Vivienda unifamiliar estudiada en las simulaciones energéticas.

#### Ubicación

Dada la necesidad del estudio de esta vivienda en EnergyPlus, tras su modelado en CYPE, como posteriormente se detallará, se observa la inexistencia de ficheros de datos climatológicos para las provincias españolas de Cádiz y Ciudad Real.

Contactado el soporte técnico de EnergyPlus, se pone en nuestro conocimiento que estos ficheros fueron eliminados por los erróneos resultados obtenidos con su utilización.

Debido a ello, se modifica la ubicación a Sevilla, provincia anexa a Cádiz, manteniendo orientación, geometría y todas las características de la vivienda en todos los programas y procedimientos de certificación usados durante la tesis.

#### Geometría

La distribución del unifamiliar se realiza en una sola planta, de una altura de 4,25 metros, según la forma y diseño que se puede observar en las figuras III.2. y III.3.

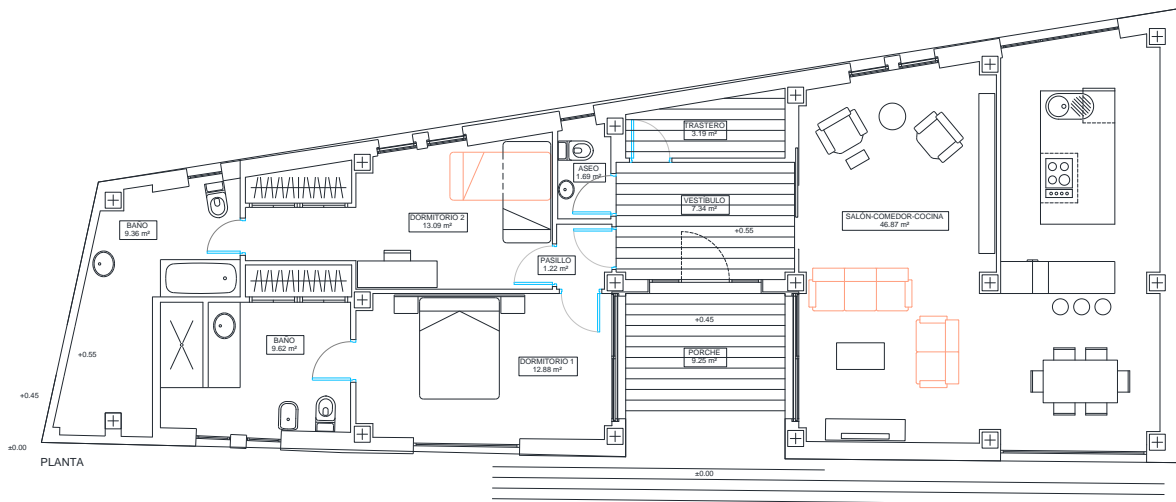


Figura III.3.-Imagen de plano de vivienda unifamiliar estudiada.

Las distintas superficies construidas y útiles de la vivienda en proyecto son las siguientes:

Tabla III.1.-Superficies en proyecto de vivienda unifamiliar estudiada.

Superficie útil total	114,51 m <sup>2</sup>
Superficie construida	130,1 m <sup>2</sup>
Superficie construida porche	4,63 m <sup>2</sup>
Superficie total construida	134,73 m <sup>2</sup>

Estas superficies no tienen por qué coincidir con las introducidas en los distintos programas de simulación, ya que las superficies requeridas por los distintos programas de simulación deben ser definidas conforme las necesidades y requerimientos de cada programa, no coincidiendo con los expresados en proyecto. Como ejemplo podemos decir que la sala de calderas no es habitable y como tal se saca de la superficie acondicionada en programas como CERMA.

El edificio, como se puede observar en la figura III.1. en cuanto a tejado se refiere, se puede dividir en 3 zonas: 2 zonas independientes con terminación en teja en las zonas obtenidas de dividir la planta por el recibidor y la sala de calderas, y 1 zona que acaba en cubierta sobre dichos espacios.

Esta terminación, será simplificada en esta tesis a una cubierta en azotea, con idéntica composición que la parte plana de la cubierta existente en el edificio original.

Dadas estas consideraciones, y diseñada la vivienda en CYPE, las superficies de cada espacios son las siguientes:



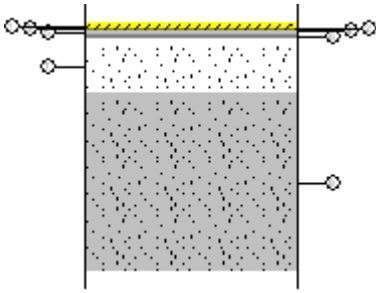
Tabla III.2.-Superficies de espacios en vivienda unifamiliar estudiada.

Recinto	Superficie construida (m <sup>2</sup> )
Baño niños	11,11
Baño principal	11,14
Dormitorio niños	15,67
Dormitorio principal	14,04
Distribuidor	1,53
Aseo	2,36
Recibidor	7,76
Salón	37,81
Cocina	16,12
Sala de calderas	4,4
<b>Total</b>	<b>121,94</b>

### Materiales

Los materiales empleados en la definición del edificio han sido tomados de la memoria constructiva del proyecto original, así como espesores y orden de colocación de las capas,...

### Suelo en contacto con el terreno



Limitación de demanda energética  
Detalle de cálculo

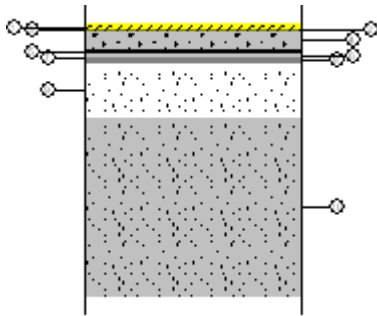
Listado de capas:

1 - Parquet mosaico taraceado	1.8 cm
2 - Barrera de vapor formada por film de polietileno	0.02 cm
3 - Mortero autonivelante de cemento	0.2 cm
4 - Tablero contrachapado 600 < d < 750	1 cm
5 - Subcapa fieltro	0.2 cm
6 - Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido 1000 < d < 1250	1.5 cm
7 - Hormigón armado d > 2500	15 cm
8 - Hormigón armado d > 2500	50 cm
<b>Espesor total:</b>	<b>69.72 cm</b>

U<sub>s</sub>: 0.63 kcal<sup>1</sup>/(h·m<sup>2</sup>°C)  
 Superficie del forjado, A: 139.16 m<sup>2</sup>  
 Perímetro del forjado, P: 55.42 m  
 Tipo de terreno: Arena semidensa  
 Masa superficial: 1726.50 kg/m<sup>2</sup>

La composición del suelo en contacto con el terreno cambia en el caso de que introduzcamos suelo radiante. En dicho caso, con el suelo radiante elegido descrito posteriormente en el capítulo V, posee la siguiente composición:

<sup>1</sup> CYPE trabaja por defecto con valores expresados en Kcal/h en lugar de W. Debido a ello, y aunque los resultados de los indicadores se expresan en unidades del S.I., en aquellos parámetros aportados por CYPE se mantendrán las unidades reflejadas por éste.



Listado de capas:

1 - Parquet mosaico taraceado	1.8 cm
2 - Barrera de vapor formada por film de polietileno	0.02 cm
3 - Mortero autonivelante de cemento	0.2 cm
4 - Capa de mortero autonivelante	5 cm
5 - Panel portatubos aislante de poliestireno expandido (EPS), "UPONOR IBERIA"	1.3 cm
6 - Tablero contrachapado 600 < d < 750	1 cm
7 - Subcapa fieltro	0.2 cm
8 - Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido 1000 < d < 1250	1.5 cm
9 - Hormigón armado d > 2500	15 cm
10 - Hormigón armado d > 2500	50 cm
<b>Espesor total:</b>	<b>76.02 cm</b>

Limitación de demanda energética  $U_s$ : 0.48 kcal/(h·m<sup>2</sup>°C)

(Para una solera con longitud característica B' = 5 m)

Detalle de cálculo ( $U_s$ )

Superficie del forjado, A: 139.16 m<sup>2</sup>

Perímetro del forjado, P: 55.42 m

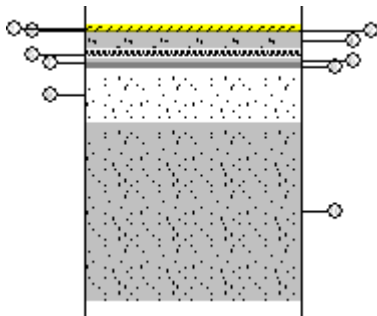
Resistencia térmica del forjado, Rf: 1.04 m<sup>2</sup>·h·°C/kcal

Sin aislamiento perimetral

Tipo de terreno: Arena semidensa

Masa superficial: 1821.89 kg/m<sup>2</sup>

A su vez, en el caso de suelo refrescante y suelo radiante y refrescante posee la siguiente:



Listado de capas:

1 - Parquet mosaico taraceado	1.8 cm
2 - Barrera de vapor formada por film de polietileno	0.02 cm
3 - Mortero autonivelante de cemento	0.2 cm
4 - Capa de mortero autonivelante	5 cm
5 - Panel aislante térmico moldeado, de tetones, de poliestireno expandido, termoconformado con lámina superficial de poliestireno, modelo SD "SAUNIER DUVAL"	2.6 cm
6 - Tablero contrachapado 600 < d < 750	1 cm
7 - Subcapa fieltro	0.2 cm
8 - Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido 1000 < d < 1250	1.5 cm
9 - Hormigón armado d > 2500	15 cm
10 - Hormigón armado d > 2500	50 cm
<b>Espesor total:</b>	<b>77.32 cm</b>

Limitación de demanda energética  $U_s$ : 0.39 kcal/(h·m<sup>2</sup>°C)

(Para una solera con longitud característica B' = 5 m)

Detalle de cálculo ( $U_s$ )

Superficie del forjado, A: 139.16 m<sup>2</sup>

Perímetro del forjado, P: 55.42 m

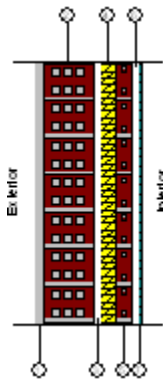
Resistencia térmica del forjado, Rf: 1.51 m<sup>2</sup>·h·°C/Kcal

Sin aislamiento perimetral

Tipo de terreno: Arena semidensa

Masa superficial: 1822.28 kg/m<sup>2</sup>

Fachada



Listado de capas:

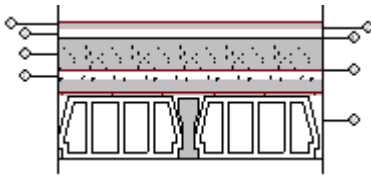
1 - Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido 1000 < d < 1250	1.5 cm
2 - 1/2 pie LP métrico o catalán 60 mm < G < 80 mm	11.5 cm
3 - Cámara de aire sin ventilador	2 cm
4 - PUR Proyección con Hidrofluorcarbono HFC [ 0.028 W/[mK]]	3 cm
5 - Tabique de LH sencillo [40 mm < Espesor < 60 mm]	4 cm
6 - Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	1.5 cm
7 - Alicatado con baldosas cerámicas, colocadas con mortero de cemento	0.5 cm
<b>Espesor total:</b>	<b>24 cm</b>

Limitación de demanda energética  $U_m$ : 0.49 kcal/(h·m<sup>2</sup>·C)

Masa superficial: 204.28 kg/m<sup>2</sup>

Masa superficial del elemento base: 202.93 kg/m<sup>2</sup>

Cubierta



Listado de capas:

1 - Plaqueta o baldosa cerámica	1 cm
2 - Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido 1000 < d < 1250	1.5 cm
3 - PUR Proyección con Hidrofluorcarbono HFC [ 0.028 W/[mK]]	2.5 cm
4 - Lámina asfáltica	0.5 cm
5 - Hormigón celular curado en autoclave d 500	10 cm
6 - Betún fieltro o lámina	0.4 cm
7 - XPS Expandido con hidrofluorcarbonos HFC [ 0.025 W/[mK]]	3 cm
8 - Forjado unidireccional 20+5 cm (Bovedilla de hormigón)	25 cm
<b>Espesor total:</b>	<b>43.9 cm</b>

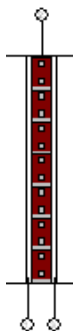
Limitación de demanda energética

$U_c$  refrigeración: 0.26 kcal/(h·m<sup>2</sup>·C)

$U_c$  calefacción: 0.27 kcal/(h·m<sup>2</sup>·C)

Masa superficial: 435.86 kg/m<sup>2</sup>

Particiones interiores



Listado de capas:

1 - Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	1.5 cm
2 - Tabicón de LH doble [60 mm < E < 90 mm]	5 cm
3 - Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	1.5 cm
<b>Espesor total:</b>	<b>8 cm</b>

Limitación de demanda energética  $U_m$ : 2.01 kcal/(h·m<sup>2</sup>·C)

Masa superficial: 81.00 kg/m<sup>2</sup>

Huecos

Los huecos pueden ser observados en las tablas III.3, III.4. y III.5.

Existen distintos tipos de huecos, definidos con los siguientes criterios generales:

*Puerta de entrada*

Tabla III.3.- Características térmicas de la puerta de entrada del unifamiliar.

Puerta de entrada a vivienda de madera blindada	
Caracterización térmica	Transmitancia térmica, U: 1.89 kcal/(h·m <sup>2</sup> °C)
	Absortividad, α <sub>s</sub> : 0.6 (color intermedio)

*Ventanas reflectantes*

Este tipo de ventanas con vidrio reflectante y acristalamiento doble (4/6/4 mm), se identifican con todas aquellas que dan a la piscina, o lo que es lo mismo, todas aquellas que en el plano se sitúan en la parte inferior.

Tabla III.4.- Características térmicas de ventanas reflectantes del unifamiliar.

Características del vidrio	Transmitancia térmica, U <sub>g</sub> : 2.24 kcal/(h·m <sup>2</sup> °C)
	Factor solar, g: 0.40
Características de la carpintería	Transmitancia térmica, U <sub>f</sub> : 3.44 kcal/(h·m <sup>2</sup> °C)
	Tipo de apertura: Fija
	Absortividad, α <sub>s</sub> : 0.4 (color intermedio)
Transmisión térmica del hueco	U <sub>w</sub> = 2.36 kcal/(h·m <sup>2</sup> °C)

Estas ventanas, a su vez, no poseen persianas, salvo en el caso de las ventanas deslizantes que comunican salón y dormitorio principal con porche.

*Ventanas no reflectantes*

Son todas aquellas orientadas en la cara opuesta a lo descrito para las reflectantes. En todas ellas existe persiana y acristalamiento doble (4/6/4 mm).

Tabla III.5.- Características térmicas de ventanas no reflectantes del unifamiliar.

Características del vidrio	Transmitancia térmica, U <sub>g</sub> : 2.84 kcal/(h·m <sup>2</sup> °C)
	Factor solar, g: 0.78
Características de la carpintería	Transmitancia térmica, U <sub>f</sub> : 3.44 kcal/(h·m <sup>2</sup> °C)
	Tipo de apertura: Deslizante
	Absortividad, α <sub>s</sub> : 0.6 (color intermedio)
Transmisión térmica del hueco	U <sub>w</sub> = 2.90 kcal/(h·m <sup>2</sup> °C)

**Sistemas**Sistema existente

La vivienda posee un sistema airzone para calefacción y refrigeración. Este sistema utiliza un único equipo de aire acondicionado con distribución por conductos, añadiendo un sistema de zonificación por compuertas de aire y termostato independiente en cada zona a climatizar.

Estos sistemas, si bien permite independizar la temperatura de consigna de cada espacio, no permite el uso simultáneo de refrigeración y calefacción.

### Sistemas simulados

Tanto para el método de referencia como para los métodos simplificados, se proponen inicialmente para la vivienda unifamiliar los siguientes sistemas de climatización en las comparaciones:

- Sistemas de calefacción:
  - Calefacción con radiadores.
  - Calefacción con radiadores y ventilación mecánica.
  - Calefacción con radiadores, ventilación mecánica y recuperador de calor
  - Calefacción con suelo radiante.
  - Calefacción con bomba de calor (BC) aire-aire y distribución por conductos.
  - Calefacción con BC aire-agua, distribución de agua a fancoils, y ventilación mecánica (con un COP > 2.6).
- Sistemas de refrigeración:
  - Sistema multisplit.
  - Máquina frigorífica aire-aire y distribución por conductos, con ventilación mecánica.
  - Máquina frigorífica aire-agua y distribución a fancoils, con ventilación mecánica.
  - Refrigeración por suelo refrescante.
- Sistemas de calefacción y refrigeración:
  - Radiadores y sistema multisplit.
  - Suelo radiante y refrescante.
  - BC reversible aire-aire y distribución por conductos, con ventilación mecánica. Este sistema es equivalente al existente actualmente en la vivienda.

- BC reversible aire-agua y distribución a fancoils con ventilación mecánica.

Se entiende que son sistemas representativos y suficientes para poder comparar los distintos programas y procedimientos elegidos.

Durante el diseño de las distintas instalaciones, se pudo obtener las siguientes consideraciones:

- CYPE está limitado al diseñar la ventilación en unifamiliares. De hecho, sólo permite en viviendas usar admisión natural y extracción mecánica. De esta forma, al ser natural, no se debe poner conductos verticales en todos los espacios, y recomienda hacer la extracción sólo de los cuartos húmedos (ya que hay que poner un aireador en cubierta por cada recinto que haya ventilación). Este sistema, que se diseña en calidad del aire interior en “Salubridad”, no permite pues el diseño de una ventilación con admisión mecánica, que aportaría una variación en los resultados obtenidos respecto del apartado anterior. A su vez, cuando se analice el método de referencia a utilizar, se justificará el uso de rendimientos medios estacionales tabulados. Dado que no existe un valor distinto en la tabulación elegida de cualquier sistema con ventilación mecánica o recuperador de calor, no se obtendrían resultados distintos caso de estudiar este sistema respecto del mismo sin él. Por estos motivos, dada la imposibilidad de simulación en CYPE, de su reflejo en el rendimiento global, y de no poder diferenciarlo del caso anterior en CERMA y CE3, se obvia la ventilación mecánica en los casos anteriores.
- En CERMA y CE3, no existe una forma específica que permita el diseño de recuperadores de calor, dado lo cual, no deberíamos usar ambos procedimientos simplificados, y de hacerlo, no se diferenciaría del primer caso estudiado. Por tanto, se eliminará de los casos expuestos anteriormente para su análisis los recuperadores de calor.
- CYPE no permite la introducción de Bombas de Calor (BC) air-aire. Estos casos, pues, debe ser eliminado.

Dadas estas limitaciones, los casos estudiados se reducen a:

- Sistemas de calefacción:
  - Calefacción con radiadores.
  - Calefacción con suelo radiante.
  - Calefacción con BC aire-agua, distribución de agua a fancoils (con un COP > 2.6).
- Sistemas de refrigeración:
  - Sistema multisplit.
  - BC de refrigeración aire-agua y distribución a fancoils.
  - Suelo radiante refrescante.
- Sistemas de calefacción y refrigeración:
  - Radiadores y sistema multisplit.
  - Suelo radiante y refrescante.
  - BC reversible aire-agua y distribución a fancoils.

Los sistemas estudiados no tienen, en algunos casos, que ser sistemas que se utilicen en la práctica. Son sistemas simulados, no reales, en los que se persigue contrastar resultados con los procedimientos y un método de referencia.

### **III.3.2. Edificio de oficinas**

Para el estudio de un edificio de oficinas se ha optado por definir un edificio no construido ubicado en Estepona (Málaga).

Se presenta a continuación una imagen del modelado en 3D en CYPE, programa en el que, como se verá posteriormente, se basará el estudio comparativo con el complemento de EnergyPlus como motor de cálculo.



Figura III.4.- Imagen de CYPE de edificio de oficinas estudiado.

### Geometría

El edificio poseerá 2 plantas: planta baja y planta primera. Como se puede observar en la anterior imagen, la distribución de ambas plantas es diferente.

Se detallan ambas plantas en las figuras III.5 III.6.

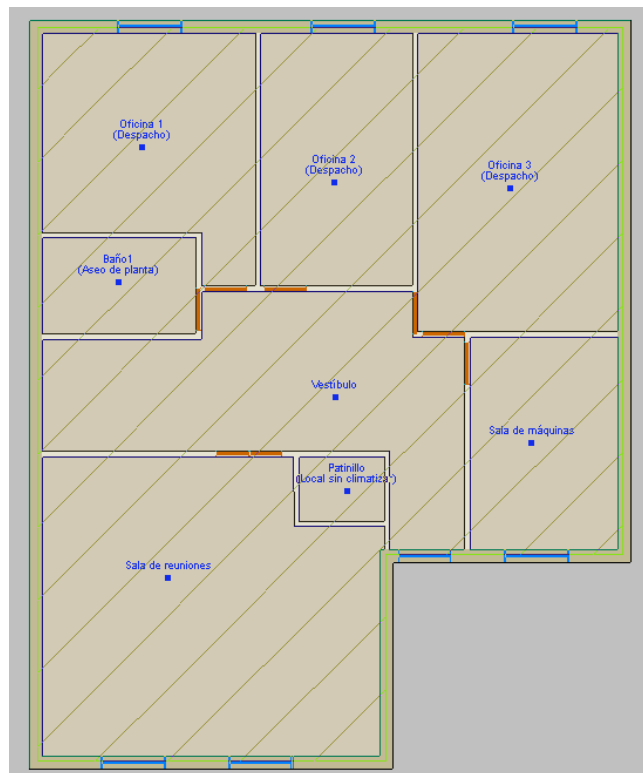


Figura III.5.- Distribución de planta baja de edificio de oficinas.



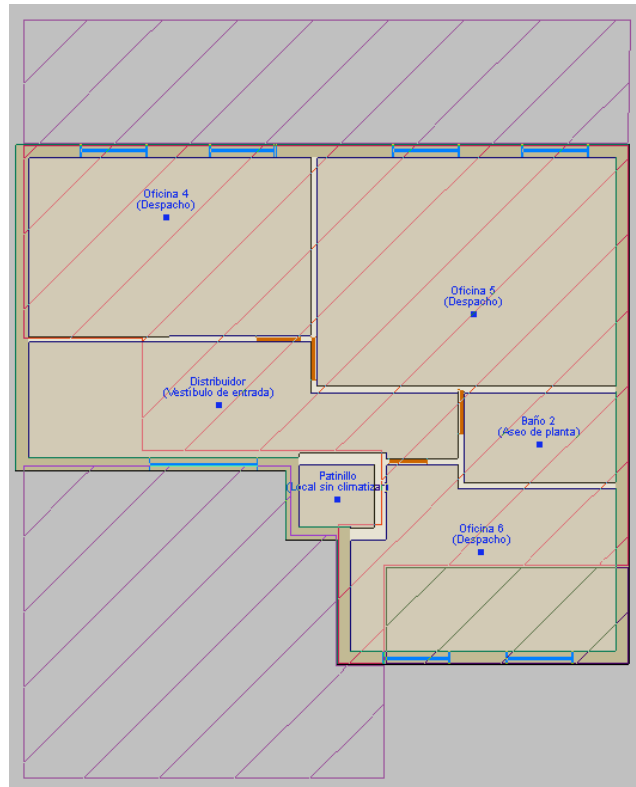


Figura III.6.- Distribución de planta primera de edificio de oficinas.

La distribución en superficies es:

Tabla III.6.- Distribución en superficie y planta del edificio de oficinas.

Recinto	Superficie construida (m <sup>2</sup> )	Planta
Sala de reuniones	38,29	Baja
Sala de máquinas	13,10	Baja
Vestíbulo	26,01	Baja
Oficina 1	18,56	Baja
Oficina 2	15,45	Baja
Oficina 3	24,1	Baja
Baño 1	6,20	Baja
Distribuidor	16,69	Primera
Oficina 4	19,91	Primera
Oficina 5	27,11	Primera
Oficina 6	18,14	Primera
Baño 2	5,60	Primera
Patinillo	2,10	Baja y Primera
<b>Total</b>	<b>231,26</b>	

Ambas plantas y el edificio en sí, se supondrán sin edificios colindantes ni obstáculos que puedan aportar sombras.

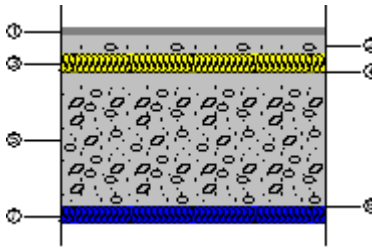
Tabla III.7.- Alturas de plantas del edificio de oficinas.

	Cota Relativa (m)	Altura (m)
Planta Baja	0	3,0
Planta Primera	3,0	3,0

**Materiales**

Los materiales empleados en la definición del edificio, así como espesores y orden de colocación de las capas, se han seleccionado en base a los materiales usados habitualmente en edificios de oficinas en la zona climática dónde se encuentra situada.

Suelo en contacto con el terreno:



Listado de capas:

1 - Solado de baldosas de mármol Crema Levante	2 cm
2 - Base de mortero autonivelante de cemento	4 cm
3 - Lana mineral	4 cm
4 - Mortero autonivelante de cemento	0.2 cm
5 - Solera de hormigón en masa	30 cm
6 - Film de polietileno	0.02 cm
7 - Poliestireno extruido	4 cm
<b>Espesor total:</b>	<b>44.22 cm</b>

Limitación de demanda energética

$U_s: 0.21 \text{ kcal}/(\text{h}\cdot\text{m}^2\cdot\text{C})$

Solera con banda de aislamiento perimetral (ancho 1.2 m y resistencia térmica:  $1.37 \text{ m}^2\cdot\text{h}\cdot\text{C}/\text{kcal}$ )

Detalle de cálculo ( $U_s$ )

Superficie del forjado, A:  $144.05 \text{ m}^2$

Perímetro del forjado, P:  $51.30 \text{ m}$

Resistencia térmica del forjado,  $R_f: 2.89 \text{ m}^2\cdot\text{h}\cdot\text{C}/\text{kcal}$

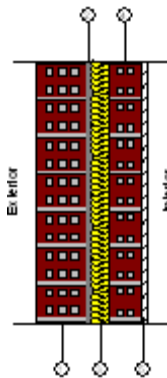
Resistencia térmica del aislamiento perimetral,  $R_f: 1.37 \text{ m}^2\cdot\text{h}\cdot\text{C}/\text{kcal}$

Espesor del aislamiento perimetral,  $d_n: 4.00 \text{ cm}$

Tipo de terreno: Arena semidensa

Masa superficial:  $887.10 \text{ kg}/\text{m}^2$

Fachada



Limitación de demanda energética

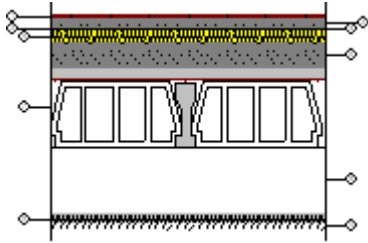
Listado de capas:

1 - Fábrica de ladrillo cerámico perforado cara vista	11.5 cm
2 - Enfoscado de cemento a buena vista	1 cm
3 - Lana mineral	4 cm
4 - Fábrica de ladrillo cerámico hueco	7 cm
5 - Enlucido de yeso $1000 < d < 1300$	1.5 cm
<b>Espesor total:</b>	<b>25 cm</b>

$U_m: 0.51 \text{ kcal}/(\text{h}\cdot\text{m}^2\cdot\text{C})$

Masa superficial:  $234.05 \text{ kg}/\text{m}^2$

**Cubierta**



Listado de capas:

1 - Pavimento de gres rústico	1 cm
2 - Adhesivo cementoso	4 cm
3 - Geotextil de poliéster	0.08 cm
4 - Impermeabilización asfáltica monocapa adherida	0.36 cm
5 - Lana mineral soldable	5 cm
6 - Formación de pendientes con arcilla expandida vertida en seco	10 cm
7 - Forjado unidireccional 25+5 cm (Bovedilla de hormigón)	30 cm
8 - Cámara de aire sin ventilar	26 cm
9 - Lana mineral	4 cm
10 - Falso techo continuo de placas de escayola	1.6 cm
11 - Pintura plástica sobre paramentos interiores de yeso o escayola	---

Espesor total: 82.04 cm

Limitación de demanda energética

$U_c$  refrigeración: 0.23 kcal/(h·m<sup>2</sup>·°C)

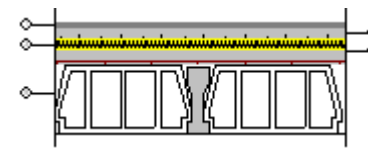
$U_c$  calefacción: 0.24 kcal/(h·m<sup>2</sup>·°C)

Masa superficial: 554.29 kg/m<sup>2</sup>

Tipo de cubierta: Transitable, peatonal, con solado fijo

Tipo de impermeabilización: Material bituminoso/bituminoso modificado

**Suelos en contacto con el exterior**



Listado de capas:

1 - Solado de baldosas de mármol Crema Levante	2 cm
2 - Base de mortero autonivelante de cemento	4 cm
3 - Lana mineral	4 cm
4 - Mortero autonivelante de cemento	0.2 cm
5 - Forjado unidireccional 25+5 cm (Bovedilla de hormigón)	30 cm

Espesor total: 40.2 cm

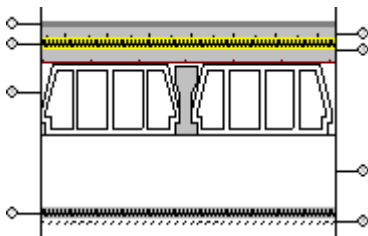
Limitación de demanda energética

$U_c$  refrigeración: 0.56 kcal/(h·m<sup>2</sup>·°C)

$U_c$  calefacción: 0.54 kcal/(h·m<sup>2</sup>·°C)

Masa superficial: 507.73 kg/m<sup>2</sup>

**Forjado interior**



Listado de capas:

1 - Solado de baldosas de mármol Crema Levante	2 cm
2 - Base de mortero autonivelante de cemento	4 cm
3 - Lana mineral	4 cm
4 - Mortero autonivelante de cemento	0.2 cm
5 - Forjado unidireccional 25+5 cm (Bovedilla de hormigón)	30 cm
6 - Cámara de aire sin ventilar	26 cm
7 - Lana mineral	4 cm
8 - Falso techo continuo de placas de escayola	1.6 cm
9 - Pintura plástica sobre paramentos interiores de yeso o escayola	---

Espesor total: 71.8 cm

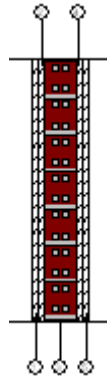
Limitación de demanda energética

$U_c$  refrigeración: 0.29 kcal/(h·m<sup>2</sup>·°C)

$U_c$  calefacción: 0.28 kcal/(h·m<sup>2</sup>·°C)

Masa superficial: 522.53 kg/m<sup>2</sup>

**Particiones interiores**



Listado de capas:	
1 - Guarnecido de yeso a buena vista	1.5 cm
2 - Enlucido de yeso $1000 < d < 1300$	1.5 cm
3 - Fábrica de ladrillo cerámico hueco	7 cm
4 - Enlucido de yeso $1000 < d < 1300$	1.5 cm
5 - Guarnecido de yeso a buena vista	1.5 cm
Espesor total:	13 cm

Limitación de demanda energética

$U_m$ : 1.64 kcal/(h·m<sup>2</sup>°C)  
Masa superficial: 134.10 kg/m<sup>2</sup>

**Huecos**

A continuación se especifican los detalles de los huecos existentes en la envolvente térmica, objeto de nuestro interés. No se especifican las particiones interiores.

*Puerta de entrada y balcón*

Las puertas poseen doble acristalamiento de seguridad (laminar).

Tabla III.8.- Características térmicas de puertas existentes en edificio de oficinas.

Características del vidrio	Transmitancia térmica, $U_g$ : 2.84 kcal/(h·m <sup>2</sup> °C) Factor solar, g: 0.75
Características de la carpintería	Transmitancia térmica, $U_f$ : 4.90 kcal/(h·m <sup>2</sup> °C) Tipo de apertura: Practicable Absortividad, $\alpha_s$ : 0.4 (color claro)
Transmisión térmica del hueco	$U_p$ = 3.14 kcal/(h·m <sup>2</sup> °C)

*Ventanas*

Las ventanas poseen doble acristalamiento con cámara de aire 5/6/5 mm y marco de PVC.

Tabla III.9.- Características térmicas de ventanas existentes en edificio de oficinas.

Características del vidrio	Transmitancia térmica, $U_g$ : 2.84 kcal/(h·m <sup>2</sup> °C) Factor solar, g: 0.75
Características de la carpintería	Transmitancia térmica, $U_f$ : 1.89 kcal/(h·m <sup>2</sup> °C) Tipo de apertura: Practicable Absortividad, $\alpha_s$ : 0.4 (color claro)
Transmisión térmica del hueco	$U_w$ = 2.33 kcal/(h·m <sup>2</sup> °C)

**Sistemas**

Los sistemas a estudiar son:

- Sistema de agua en calefacción (caldera con radiadores) y sistema aire-agua en refrigeración (máquina frigorífica con fancoils).

- Sistema aire-agua en calefacción y refrigeración (bomba de calor reversible con fancoils).
- Unidad de aire acondicionado con sistema multisplit.

### III.3.3. Edificio universitario

El edificio objeto de estudio es el Aulario Universitario de la Universidad de Valladolid, situado en el Paseo del Cauce nº 61, dentro del Campus Río Esgueva, en Valladolid.



Figura III.7.- Imagen real de Aulario Universitario de Valladolid.

Posee geometría rectangular y consta de:

- Semisótano: está dedicado a aparcamientos y sala de calderas, encontrándose uno de sus muros totalmente abierto.
- Planta baja y planta primera: poseen igual distribución, salvo que en la planta primera se encuentra la sala de ordenadores y la sala de estudio. Ambas plantas están formadas por dos alas rectangulares separadas cada una por un vestíbulo. En cada una de estas alas se encuentran las diferentes aulas y seminarios, situándose aseos al inicio y final de cada ala.
- Planta superior: posee dimensiones muy inferiores a las de las plantas primera y baja, y no se dedica al uso de aula.

- Cubierta: es plana salvo por unos tejadillos a los laterales y un tejado central que cruza el edificio.

### Geometría

El edificio consta de semisótano, dos plantas aéreas (planta baja y planta primera), planta superior como buhardilla y cubierta, de la cual parte es inclinada a dos aguas que se alza por encima de la planta primera haciendo las veces de porche y el resto es plana por encima de la buhardilla. En la siguiente tabla se indican las áreas ocupadas por cada una de las plantas:

Tabla III.10.-Áreas ocupadas por cada planta del Aulario.

Planta	Superficie (m <sup>2</sup> )
Semisótano	2.787
Planta Baja	2.318
Planta Primera	2.291
Buhardilla	319

En la siguiente tabla se muestran las alturas entre forjados y cotas de las distintas plantas:

Tabla III.11.-Alturas y cotas de cada planta del Aulario.

Planta	Cota Relativa (m)	Altura (m)
Semisótano	-1,5	3,5
Planta Baja	2	4,5
Planta Primera	6,5	4,5
Planta Superior	11	3,5

A continuación, se detalla la geometría de cada una de las plantas individualmente.

#### Planta semisótano

De los 2.787 m<sup>2</sup> de la planta, según se detalla en la tabla III.10., 2.585 m<sup>2</sup> están destinados a zona de aparcamiento distribuido en 82 plazas. Además en esta planta se encuentran también la sala de calderas, el grupo electrógeno, maquinaria de ascensores y accesos a las distintas plantas.

Las superficies de los distintos espacios son:

Tabla III.12.-Superficies del semisótano del Aulario.

Semisótano	
Zona	Superficie (m <sup>2</sup> )
Pasillos y escaleras	140
Zona de Aparcamiento	2.585
Ascensores	13
Sala de Calderas	49
TOTAL	2.787

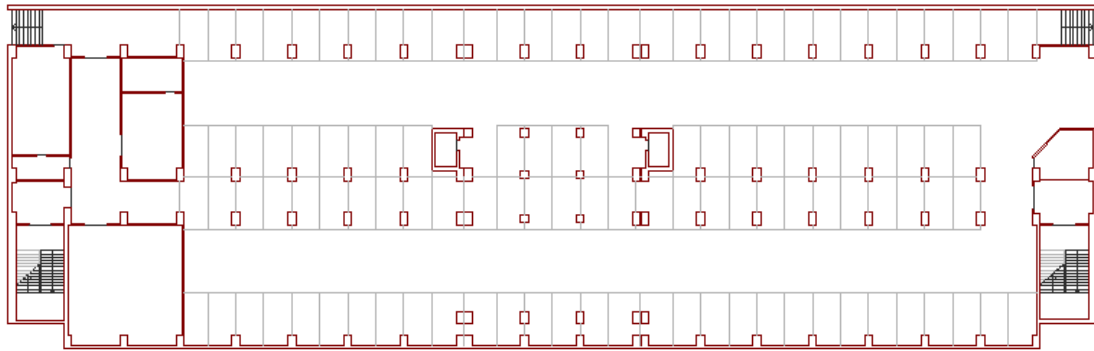


Figura III.8.- Planta semisótano del edificio Aulario.

Planta baja

Está dividida en dos alas simétricas rectangulares separadas por un vestíbulo y una escalera central. En cada una de estas alas se encuentra un seminario, aulas, accesos a garaje y a la planta primera, la secretaría del centro, un despacho, aseos y un pasillo.

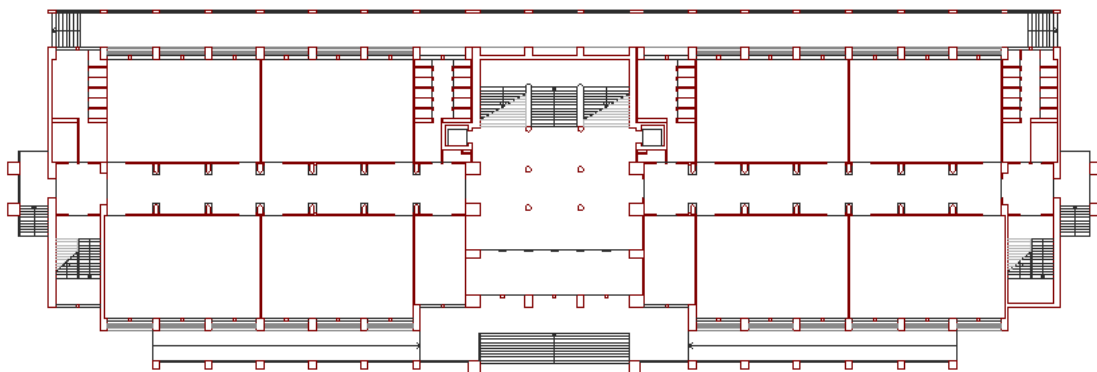


Figura III.9.- Planta baja del edificio Aulario.

Tabla III.13.-Superficies de la planta baja del Aulario.

Planta baja	
Zona	Superficie (m <sup>2</sup> )
Hall, Pasillos y Escaleras	822
Aulas	1.281
Aseos	188
Cuartos de Limpieza	19
Ascensores	8
<b>TOTAL</b>	<b>2.318</b>

Planta primera

Esta planta es prácticamente igual que la planta baja en cuanto a distribución e idéntica en cuanto a geometría se refiere. En esta planta se ubica la sala de estudio y una sala de ordenadores.

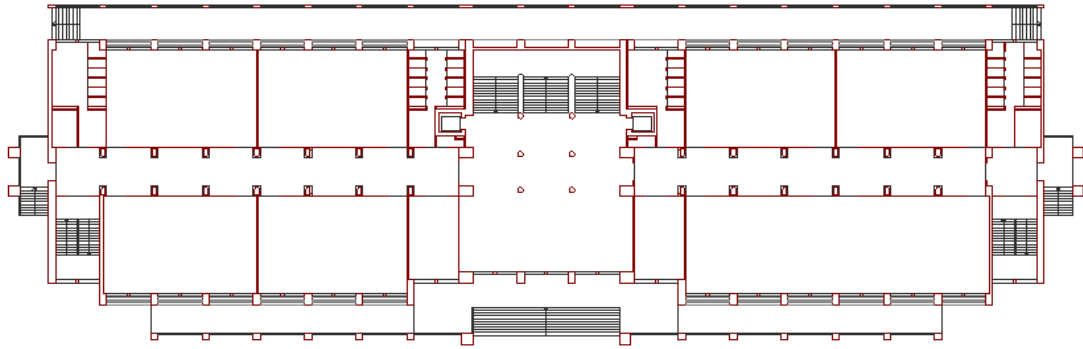


Figura III.10.- Planta primera del edificio Aulario.

Tabla III.14.-Superficies de la planta primera del Aulario.

Planta primera	
Zona	Superficie (m <sup>2</sup> )
Hall, Pasillos y Escaleras	800
Aulas	978
Sala de estudio	298
Cuartos de Limpieza	19
Aseos	188
Ascensores	8
<b>TOTAL</b>	<b>2.291</b>

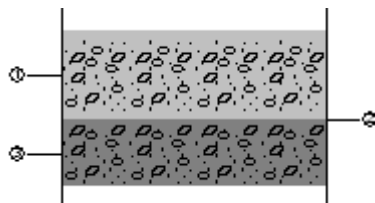
Planta superior (buhardilla)

Espacio sin compartimentar no utilizado para uso educativo. Consiste en un espacio habitable sin climatizar.

**Materiales**

Los materiales empleados en la definición del edificio universitario y orden de colocación de capas han sido tomados de la memoria constructiva del proyecto original, así como sus espesores.

Suelo en contacto con el terreno



Listado de capas:

- 1 - Hormigón armado d > 2500 20 cm
- 2 - Polietileno baja densidad [LDPE] 0.1 cm
- 3 - Arena y grava [1700 < d < 2200] 15 cm
- Espesor total:** **35.1 cm**

Limitación de demanda energética  
Detalle de cálculo (U<sub>s</sub>)

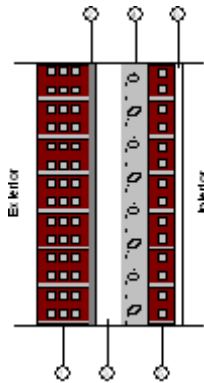
U<sub>s</sub>: 0.20 kcal/(h·m<sup>2</sup>°C)  
Superficie del forjado, A: 2432.62 m<sup>2</sup>  
Perímetro del forjado, P: 245.90 m  
Resistencia térmica del forjado, R<sub>f</sub>: 0.18 m<sup>2</sup>·h·°C/kcal  
Sin aislamiento perimetral



Tipo de terreno: Arena semidensa

Masa superficial: 738.42 kg/m<sup>2</sup>

Fachada



Listado de capas:

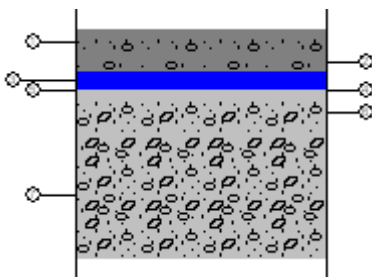
- |  |         |
|--|---------|
| 1 - 1/2 pie LP métrico o catalán 40 mm < G < 60 mm                                   | 11.5 cm |
| 2 - Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido 1250 < d < 1450 | 1.5 cm  |
| 3 - Cámara de aire sin ventilar  | 6 cm    |
| 4 - EPS Poliestireno Expandido [ 0.037 W/[mK]]                                       | 6 cm    |
| 5 - Tabicón de LH doble [60 mm < E < 90 mm]  | 6 cm    |
| 6 - Enlucido de yeso 1000 < d < 1300   | 1.5 cm  |

Espesor total: 32.5 cm

Limitación de demanda energética U<sub>m</sub>: 0.37 kcal/(h·m<sup>2</sup>°C)

Masa superficial: 226.20 kg/m<sup>2</sup>

Cubierta



Listado de capas:

- |  |        |
|--|--------|
| 1 - Arena y grava [1700 < d < 2200]  | 5 cm   |
| 2 - Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido 1250 < d < 1450 | 5 cm   |
| 3 - XPS Expandido con dióxido de carbono CO <sub>2</sub> [ 0.034 W/[mK]]             | 4 cm   |
| 4 - Betún fieltro o lámina   | 0.2 cm |
| 5 - Betún fieltro o lámina   | 0.2 cm |
| 6 - Hormigón con arcilla expandida como árido principal d 1400                       | 10 cm  |
| 7 - FU Entrevigado de hormigón -Canto 300 mm   | 30 cm  |

Espesor total: 54.4 cm

Limitación de demanda energética U<sub>c</sub> refrigeración: 0.45 kcal/(h·m<sup>2</sup>°C)

U<sub>c</sub> calefacción: 0.47 kcal/(h·m<sup>2</sup>°C)

Masa superficial: 657.90 kg/m<sup>2</sup>

Tejado



Listado de capas:

- |  |        |
|--|--------|
| 1 - Acero Inoxidable   | 0.1 cm |
| 2 - PUR Proyección con CO <sub>2</sub> celda cerrada [ 0.032 W/[mK]] | 3 cm   |
| 3 - Acero Inoxidable   | 0.1 cm |

Espesor total: 3.2 cm

Limitación de demanda energética U<sub>c</sub> refrigeración: 0.75 kcal/(h·m<sup>2</sup>°C)

U<sub>c</sub> calefacción: 0.80 kcal/(h·m<sup>2</sup>°C)

Masa superficial: 17.30 kg/m<sup>2</sup>

Forjado entre pisos



Limitación de demanda energética

Listado de capas:

1 - FU Entrevigado de hormigón -Canto 300 mm 30 cm

Espesor total: 30 cm

$U_c$  refrigeración: 2.09 kcal/(h·m<sup>2</sup>°C)

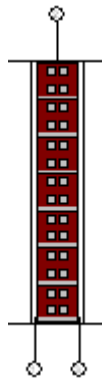
$U_c$  calefacción: 1.56 kcal/(h·m<sup>2</sup>°C)

Masa superficial: 372.00 kg/m<sup>2</sup>

Particiones interiores

Existen dos tipos usados en el Aulario:

*Tabicón*



Limitación de demanda energética

Listado de capas:

1 - Enlucido de yeso 1000 < d < 1300 1.5 cm

2 - Tabicón de LH doble [60 mm < E < 90 mm] 9 cm

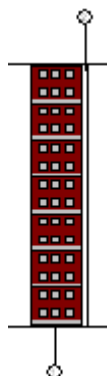
3 - Enlucido de yeso 1000 < d < 1300 1.5 cm

Espesor total: 12 cm

$U_m$ : 1.65 kcal/(h·m<sup>2</sup>°C)

Masa superficial: 118.20 kg/m<sup>2</sup>

*Tabique cara vista*



Limitación de demanda energética

Listado de capas:

1 - 1/2 pie LP métrico o catalán 40 mm < G < 60 mm 11.5 cm

2 - Enlucido de yeso 1000 < d < 1300 1.5 cm

Espesor total: 13 cm

$U_m$ : 1.87 kcal/(h·m<sup>2</sup>°C)

Masa superficial: 148.35 kg/m<sup>2</sup>

### Huecos

Los huecos existentes en la envolvente térmica son:

#### *Puertas de cristal exteriores*

Las puertas exteriores del edificio son de cristal con marco de aluminio lacado en rojo, al igual que las de entrada al vestíbulo principal. Las puertas interiores son de madera, exceptuando las de acceso a cuartos de instalaciones, que son de chapa de acero.

Tabla III.15.- Características térmicas de puertas exteriores existentes en el Aulario.

Puerta de cristal exteriores de diferentes dimensiones

Caracterización térmica	Transmitancia térmica, U: 2.15 kcal/(h·m <sup>2</sup> °C) Absortividad, α <sub>s</sub> : 0.6 (color intermedio)
-------------------------	--

#### *Ventanas*

Las ventanas son todas del mismo tipo con distintas dimensiones dependiendo de la zona. Poseen acristalamiento doble tipo CLIMALIT 4/6/4 mm, esto es, vidrios de 4 mm de espesor y cámara de aire de 6 mm. El marco es metálico de aluminio lacado en color rojo. Las ventanas correspondientes a aulas y seminarios tienen persianas en este mismo color rojo.

Tabla III.16.- Características térmicas de ventanas existentes en el Aulario.

Genérico - Acristalamiento doble con cámara de aire (4/6/4 mm) (U = 2.44 kcal/(h·m<sup>2</sup>°C) / Factor solar = 0.66)

#### ACCESORIOS:

Persiana de lamas metálicas o de plástico

Características del vidrio	Transmitancia térmica, U <sub>g</sub> : 2.41 kcal/(h·m <sup>2</sup> °C) Factor solar, g: 0.72
Características de la carpintería	Transmitancia térmica, U <sub>f</sub> : 2.75 kcal/(h·m <sup>2</sup> °C) Tipo de apertura: Deslizante Permeabilidad al aire de la carpintería (EN 12207): Clase 2 Absortividad, α <sub>s</sub> : 0.6 (color intermedio)

#### *Rejillas*

Parte del sótano se encuentra sobre rasante. En esta parte del cerramiento existen en la fachada principal en ambos extremos dos rejillas metálicas de ventilación.

Para simular una transmitancia de este tipo, se modelan como ventanas con cristal y marco de tipo de genérico con la conductividad del aluminio, con un 99% del hueco como marco. Para simular la entrada de aire se introducen como ventanas deslizantes.

Tabla III.17.- Características térmicas de rejillas existentes en el Aulario.

Acristalamiento ( $U = 4.90 \text{ kcal}/(\text{h}\cdot\text{m}^2\cdot\text{C})$  / Factor solar = 0.85)

Características del vidrio	Transmitancia térmica, $U_g$ : $4.90 \text{ kcal}/(\text{h}\cdot\text{m}^2\cdot\text{C})$
	Factor solar, $g$ : 0.85
	Aislamiento acústico, $R_w$ ( $C;C_{tr}$ ): 27 (-1;-1) dB
Características de la carpintería	Transmitancia térmica, $U_f$ : $4.89 \text{ kcal}/(\text{h}\cdot\text{m}^2\cdot\text{C})$
	Tipo de apertura: Deslizante
	Permeabilidad al aire de la carpintería (EN 12207): Clase 2
	Absortividad, $\alpha_s$ : 0.8 (color oscuro)

### Obstáculos remotos y sombras

CYPE permite modelar edificios colindantes que puedan aportar sombras mediante la opción “Edificios Remotos”. Se podrá definir posición, tamaño y orientación de aquellos obstáculos que, sin formar parte del edificio, proyectan sombras sobre éste, como edificios adyacentes.

En este caso existe un único posible obstáculo: la Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales, paralela a la fachada posterior del Aulario.

Para la simulación de la geometría de esta facultad se han simulado dos edificios contiguos (edificios en la parte superior en la figura III.6.):

- 34 m. de largo x 37 m. de ancho x 10 m. de alto.
- 104,5 m. de largo x 42 m. de ancho x 16 m. de alto.

### Sistemas

#### Sistema de calefacción

La sala de calderas se compone de dos calderas de gasóleo marca “ROCA”, una modelo NTD-200 de 232 kW y la otra modelo NTD-165 de 191 kW, gobernadas por una central de regulación electrónica “SAUTER” modelo “EQUITHERM-M10” que distribuye el agua de calefacción en 3 circuitos.

Las calderas van equipadas con quemadores “ROCA” modelo “PRESOMATIC GO-32” para la de 232 kW y “PRESOMATIC GO-30” para la de 191 kW. Estas calderas dan suministro a una red de radiadores marca “FERROLI” modelo “EUROPA 600”, de aluminio y de dimensiones de 581 mm de alto, 100 mm de profundidad y 80 mm de ancho.

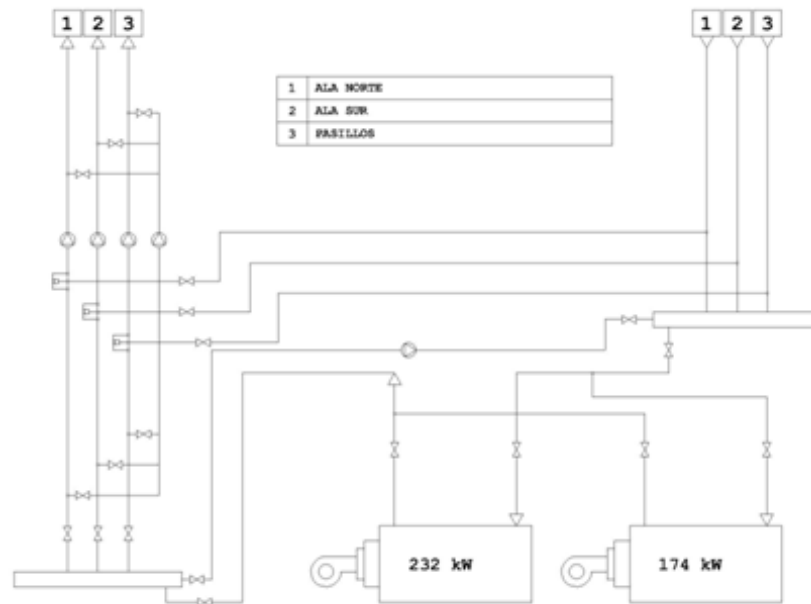


Figura III.11.- Esquema de circuito de calefacción del edificio Aulario.

Tabla III.18.- Inventarios de radiadores existentes en la planta baja del Aulario.

Modelo	Zona	Nº radiadores	Nº elementos radiador	W/elemento $\Delta T = 60\text{ C}$	kW total
EU-600	Aula 1	6	11	152,3	10,05
EU-600	Aula 2	6	11	152,3	10,05
EU-600	Aula 3	6	11	152,3	10,05
EU-600	Aula 4	6	11	152,3	10,05
EU-600	Seminario-Tutoría 1	2	11	152,3	3,35
EU-600	Servicios Alumnos 1	1	21	152,3	3,2
EU-600	Servicios Alumnas 1	1	23	152,3	3,5
EU-600	Vestíbulo	6	20	152,3	18,28
EU-600	Pasillo 1	4	8	152,3	4,87
EU-600		2	11	152,3	3,35
EU-600	Pasillo 2	4	8	152,3	4,87
EU-600		2	11	152,3	3,35
EU-600	Aula 5	6	11	152,3	10,05
EU-600	Aula 6	6	11	152,3	10,05
EU-600	Aula 7	6	11	152,3	10,05
EU-600	Aula 8	6	11	152,3	10,05
EU-600	Seminario-Tutoría 2	2	11	152,3	3,35
EU-600	Servicios Alumnas 2	1	21	152,3	3,2
EU-600	Servicios Alumnos 2	1	23	152,3	3,5

La instalación del sistema de calefacción consta de 3 circuitos de ida y 3 de retorno.

Tabla III.19.- Inventarios de radiadores existentes en la planta primera del Aulario.

Modelo	Zona	Nº radiadores	Nº elementos radiador	W/elemento $\Delta T = 60\text{ C}$	kW total
EU-600	Sala de Estudio	12	11	152,3	20,1
EU-600	Aula 1	6	12	152,3	10,97
EU-600	Aula 2	6	12	152,3	10,97
EU-600	Seminario–Tutoría 1	2	11	152,3	3,35
EU-600	Servicios Alumnos 1	1	22	152,3	3,35
EU-600	Servicios Alumnas 1	1	25	152,3	3,81
EU-600	Vestíbulo	2	17	152,3	5,18
EU-600		2	14	152,3	4,26
EU-600	Pasillo 1	2	10	152,3	3,05
EU-600		2	8	152,3	2,44
EU-600		2	11	152,3	3,35
EU-600	Pasillo 2	2	10	152,3	3,05
EU-600		2	8	152,3	2,44
EU-600		2	11	152,3	3,35
EU-600	Aula 3	6	12	152,3	10,97
EU-600	Aula 4	6	12	152,3	10,97
EU-600	Aula 5	6	11	152,3	10,05
EU-600	Aula 6	6	11	152,3	10,05
EU-600	Seminario–Tutoría 2	2	11	152,3	3,35
EU-600	Servicios Alumnas 2	1	22	152,3	3,35
EU-600	Servicios Alumnos 2	1	25	152,3	3,81

### Sistema de refrigeración

El sistema de refrigeración consta de 5 conjuntos de unidad exterior y un climatizador tipo cassette de cuatro vías.

Todos los climatizadores instalados tienen una unidad interna tipo cassette empotradas en los techos. Las unidades externas se encuentran en la parte descubierta del garaje. Estas bombas de calor, al ser reversibles, pueden aportar apoyo a la calefacción en los recintos en que exista.

Tabla III.20.- Bombas de calor existentes en el Aulario.

ZONA	MARCA	Unid. Interior	Pot. Calorífica (kW)	Pot. Frigorífica (kW)	Free-Cooling
Aula 12	Mitsubishi Daiya	FTD508A	22,4	20	Si
Aula 13	Mitsubishi Daiya	FDT408A	28	25	Si
Aula 14	Mitsubishi Daiya	FDT408A	22,4	22	Si
Sala de Estudio	Mitsubishi Electric	PLH-5 AKS	28.40	26	Si
Sala de Estudio	Mitsubishi Electric	PLH-5 AKS	28.40	26	Si

### Sistema de iluminación

Para la iluminación, se han usados los datos recomendados en la norma EN 12464-1:2002, según se detallan en la tabla III.21.

Tabla III.21.- Valores de iluminación según norma EN 12464-1:2002 en uso educativo.

6. Establecimientos educativos					
6.1. Jardines de infancia, guarderías					
Nº ref.	Tipo de interior, tarea o actividad	$E_m$ (lux)	UGR <sub>L</sub>	$R_a$	Observaciones
6.1.1.	Sala de juegos	300	19	80	
6.1.2.	Guardería	300	19	80	
6.1.3.	Sala de manualidades	300	19	80	
6.2. Edificios educativos					
6.2.1.	Aulas, aulas de tutoría	300	19	80	La iluminación debería ser controlable
6.2.2.	Aulas para clases nocturnas y educación de adultos	500	19	80	
6.2.3.	Sala de lectura	500	19	80	
6.2.4.	Pizarra	500	19	80	Evitar reflexiones especulares
6.2.5.	Mesa de demostraciones	500	19	80	En salas de lectura 750 lux
6.2.6.	Aulas de arte	500	19	80	
6.2.7.	Aulas de arte en escuelas de arte	750	19	90	$T_{CP} \geq 5.000$ K
6.2.8.	Aulas de dibujo técnico	750	19	80	
6.2.9.	Aulas de prácticas y laboratorios	500	16	80	
6.2.10.	Aulas de manualidades	500	19	80	
6.2.11.	Talleres de enseñanza	500	19	80	
6.2.12.	Aulas de prácticas de informática	300	19	80	Trabajo con EPV: véase el apartado 4.11
6.2.13.	Laboratorio de lenguas	300	19	80	
6.2.14.	Aulas de preparación y talleres	300	19	80	
6.2.15.	Halls de entrada	500	22	80	
6.2.16.	Áreas de circulación, pasillos	200	22	80	
6.2.17.	Escaleras	100	25	80	
6.2.18.	Aulas comunes de estudio y aulas de reunión	150	25	80	
6.2.19.	Aulas comunes de estudio y aulas de reunión	200	22	80	
6.2.20.	Salas de profesores	300	19	80	
6.2.21.	Biblioteca: estanterías	200	19	80	
6.2.22.	Biblioteca: salas de lectura	500	19	80	
6.2.23.	Almacenes de material de profesores	100	25	80	
6.2.24.	Salas de deportes, gimnasios, piscinas (uso general)	300	22	80	Para actividades más específicas se deben usar los requisitos de la Norma EN 12193
6.2.25.	Cantinas escolares	200	22	80	
6.2.26.	Cocina	500	22	80	





## **CAPÍTULO IV.- MÉTODO DE REFERENCIA Y PROCEDIMIENTOS SIMPLIFICADOS**

<i>RESUMEN</i> .....	172
<i>ABSTRACT</i> .....	174
<i>IV.1. METODOLOGÍA DE CÁLCULO DE REFERENCIA</i> .....	176
IV.1.1.    Uso de EnergyPlus con generación de fichero IDF en CYPE .....	176
IV.1.2.    Uso de TRNSYS como método de referencia .....	180
IV.1.3.    Uso de CYPE como interfaz y EnergyPlus como motor de cálculo .....	184
IV.1.4.    Elección de metodología de referencia utilizada .....	187
<i>IV.2. PROCEDIMIENTOS SIMPLIFICADOS</i> .....	189
IV.2.1.    Simplificaciones realizadas por los procedimientos simplificados .....	190
<i>IV.3. REFERENCIAS</i> .....	193



## **RESUMEN**

En el capítulo IV se elige el método de referencia entre diversos programas o motores de cálculo de prestigio internacional, como son EnergyPlus o TRNSYS. El método, que se basa en el uso de uno de estos softwares, no sólo debe llevar a obtener los resultados en estos, sino a poder calcular los indicadores energéticos elegidos.

Tras la elección del método con el que comparar los resultados, se procede a elegir los procedimientos simplificados, en virtud de los procedimientos reconocidos por el Ministerio de Industria, Energía y Turismo y de los edificios de comparación.



**ABSTRACT**

In chapter IV the method of reference between various programs or international prestige calculation engines is chosen, such as EnergyPlus and TRNSYS. The method, which is based on the use of one of these softwares, should not only lead to results, but be able to calculate the selected energy indicators.

After the choice of the method to compare the results, the simplified procedures, recognized by the Ministry of industry, Energy and Tourism, and buildings of comparison are chosen.



## IV.1. METODOLOGÍA DE CÁLCULO DE REFERENCIA

Según se detalló en el capítulo II, “Herramientas de simulación energética”, los métodos más contrastados y usados internacionalmente se basan en TRNSYS y EnergyPlus.

A su vez, EnergyPlus es un motor de cálculo en que, según sugiere el propio programa informático, la forma idónea de uso es mediante una interfaz gráfica. Este es el motivo por el que en el capítulo anterior se procedió a la descripción de CYPE.

Dadas las dos formas que podemos trabajar con CYPE y EnergyPlus, se plantea las tres siguientes vías como métodos de referencias, entre las cuales se debe elegir en este apartado.

- Introducción de edificios y sistemas en CYPE, exportación a fichero IDF de entrada a EnergyPlus y cálculo en éste. Con los resultados obtenidos, se calculan los indicadores que necesitamos.
- Introducción de edificios y sistemas en TRNSYS obteniendo sus indicadores en cada caso.
- Introducción de edificios y sistemas en CYPE, y trabajando desde el propio CYPE con el EnergyPlus como motor de cálculo, como se describió en el capítulo II, obtener la demanda energética. Con esta demanda se llega al consumo mediante el uso de rendimientos medios estacionales.

A continuación, se procede a la comparación entre ellos para la elección del método de referencia apropiado.

Para ello, se aplican las tres vías anteriores al caso expuesto en el capítulo III de unifamiliar con sistema de calefacción basado en radiadores.

### IV.1.1. Uso de EnergyPlus con generación de fichero IDF en CYPE

Mediante este procedimiento, procedemos según las siguientes etapas:

- Modelado de la geometría del edificio y composición de cerramientos en CYPE.
- Diseño de la instalación para cumplir con los requerimientos del edificio.
- Exportación del fichero IDF (Input Data File), introducción y cálculo del proyecto en EnergyPlus.

### Modelado de la geometría del edificio y composición de cerramientos en CYPE

Se procede a la introducción del edificio en CYPE en cuanto a geometría y composición de cerramiento del unifamiliar a estudiar.

El resultado se puede observar en la siguiente figura:



Figura IV.1.- Edificio generado en CYPE para estudio en EnergyPlus, correspondiente al unifamiliar.

### Diseño de la instalación para cumplir con los requerimientos del edificio

Se procede a implementar la caldera y los radiadores para compensar la carga térmica calculada en el edificio por CYPE. No se detallan las características de estos emisores ni caldera ahora, ya que es un caso de estudio específico y será visto posteriormente.

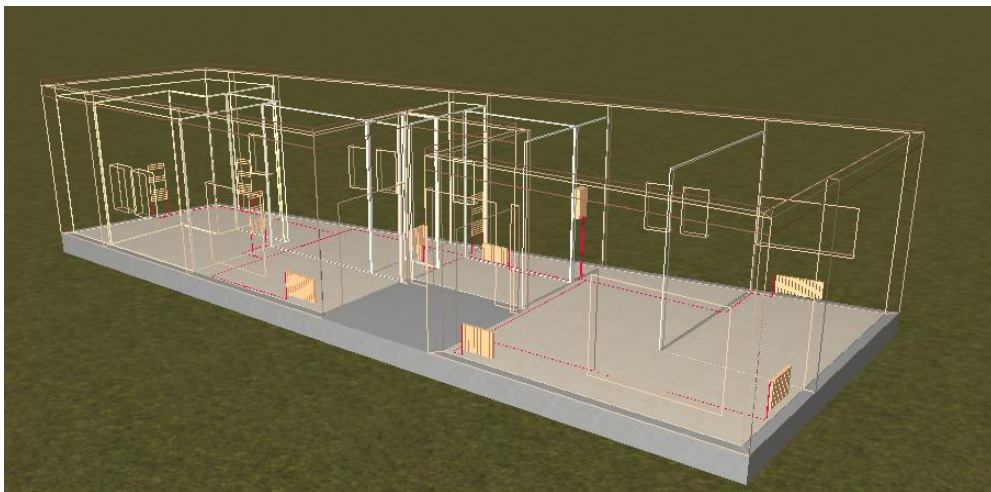


Figura IV.2.- Instalación de calefacción diseñada en el caso de estudio del unifamiliar de la tesis.



Se introducen, como se puede observar en la anterior imagen, un sistema de radiadores en todas las habitaciones salvo en los baños y aseos, dónde la calefacción se realiza mediante toalleros. Serán alimentados desde una caldera ubicada en la “Sala de caldera”.

En el primer caso, no está prevista la introducción de ningún sistema de refrigeración, por lo que se terminan aquí las instalaciones estudiadas.

### Exportación a EnergyPlus y cálculo

Se realiza la exportación a EnergyPlus desde CYPE utilizando la exportación inicialmente mediante la pestaña de climatización. Exportado el fichero, se importa en EnergyPlus utilizando el fichero de datos climatológicos de Sevilla.

Tabla IV.1.- Energías totales de generación y del sitio dadas por EnergyPlus en el unifamiliar con radiadores.

	Total Energy [kWh]	Energy Per Total Building Area [kWh/m <sup>2</sup> ]	Energy Per Conditioned Building Area [kWh/m <sup>2</sup> ]
Total Site Energy	21671.40	177.64	196.20
Net Site Energy	21671.40	177.64	196.20
Total Source Energy	49523.01	405.94	448.35
Net Source Energy	49523.01	405.94	448.35

Tabla IV.2.- Consumos finales dados por EnergyPlus en el unifamiliar con radiadores.

	Electricity [kWh]	Natural Gas [kWh]	Additional Fuel [kWh]	District Cooling [kWh]	District Heating [kWh]	Water [m <sup>3</sup> ]
Heating	0.00	0.00	0.00	0.00	5041.37	0.00
Cooling	0.00	0.00	0.00	10117.03	0.00	0.00
Interior Lighting	4223.97	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Exterior Lighting	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Interior Equipment	2289.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Exterior Equipment	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fans	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pumps	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Heat Rejection	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Humidification	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Heat Recovery	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Water Systems	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Refrigeration	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Generators	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total End Uses	6512.99	0.00	0.00	10117.03	5041.37	0.00

El resultado se muestra en diversas tablas con parámetros de cálculos obtenidos en EnergyPlus. Podemos destacar, a la hora de sacar conclusiones, la tabla IV.1., en la que se detallan valores totales, y la tabla IV.2., con los distintos tipos de sistemas:

En la tabla IV.1. se pueden observar diversas características que se deben analizar:

- Los valores de energía netos y totales son idénticos, lo cual significaría que no se contemplan pérdidas en la distribución.
- Igualmente ocurre en la fuente, con lo que no se contemplan las pérdidas en la generación.

A su vez, también existen datos que debemos analizar en la tabla IV.2.:

- Los valores de calefacción y refrigeración se asocian a “district heating” y “district cooling”. Este tipo de sistemas no existen en la realidad y no es la manera en que se ha simulado en CYPE.
- Existe un valor de iluminación, la cual no se ha introducido en nuestro edificio en el diseño de CYPE.
- No existe diseño de sistema de refrigeración alguno, por tanto no debería haber ningún valor de consumo en refrigeración.

Para entender este último punto que hemos planteado, pudiendo existir la posibilidad de que EnergyPlus en ausencia de un sistema de refrigeración introduzca uno prefijado según algún estándar de forma similar a como se hace en los procedimientos españoles, se procede al diseño de un sistema de refrigeración en CYPE basado en splits en salón y dormitorio principal.

El resultado obtenido es idéntico al de las tablas IV.1. y IV.2.

Para evitar la posibilidad de que esto se deba a que el sistema introducido no llegue a un valor mínimo y EnergyPlus esté introduciendo un sistema estándar, se procede a introducir splits en todas las habitaciones. El resultado sigue siendo el mismo.

Ante esta situación, en la cual poseemos las anteriores 5 interrogantes, se procedió a la consulta al soporte técnico de EnergyPlus acerca de qué estaba ocurriendo, entendiendo inicialmente que podía ser un problema en el cálculo de dicho programa o en la introducción de datos en éste.

Consultado dicho soporte técnico, se constató que el programa estaba calculando de forma correcta según los datos introducidos, pero que los datos introducidos incluían los sistemas que aparecían en los resultados.

Debido a ello, se procedió a contactar con el soporte técnico de CYPE en relación a la forma de exportar sistemas al fichero IDF de dicho programa. La conclusión de esta consulta que se obtuvieron, previa revisión de la documentación oficial de CYPE sin resultado, fueron las siguientes: CYPE no exporta los sistemas diseñados en el edificio, sino que exporta un sistema ideal, obteniendo por tanto el fichero IDF exportado un consumo ideal, esto es, la demanda del edificio. Debido a ello, aparece un consumo en iluminación y en refrigeración, y no existen pérdidas en generación ni distribución.

Esto, que si bien se preveía para el uso de CYPE como motor de cálculo según lo que se verá posteriormente, no se expone así en la documentación de CYPE, en la cual no se comenta que el fichero exportado IDF sea válido únicamente para el cálculo de demandas.

De esta forma, siendo válido sólo para el cálculo de demandas, se hace análogo el uso de este sistema mediante exportación de IDF y cálculo en EnergyPlus, frente a cálculo de demanda en CYPE con EnergyPlus como motor de cálculo. Esta última vía, sin embargo, es más simple.

#### **IV.1.2. Uso de TRNSYS como método de referencia**

Como se describió en el capítulo anterior de esta tesis, previo al uso de TRNSYS podemos introducir la geometría del edificio en la aplicación Sketch Up.

Se procede a realizar la definición del edificio y sus sistemas en las siguientes etapas:

- Definición de geometría en Sketch Up y exportación a fichero IDF de entrada de TRNSYS.
- Definición de cerramientos en TRNSYS.
- Definición de sistemas en TRNSYS.
- Obtención de demandas, consumos y emisiones de CO<sub>2</sub> en TRNSYS.

Para todo esto, se estudiará como el primer caso de estudio, “Calefacción con radiadores”. De esta forma, caso de optar por este método, tendremos estudiado dicho caso.

### Definición de geometría en Sketch Up y exportación a TRNSYS

Se procede a la introducción en Sketch Up de la geometría.

El resultado se muestra en la siguiente figura:

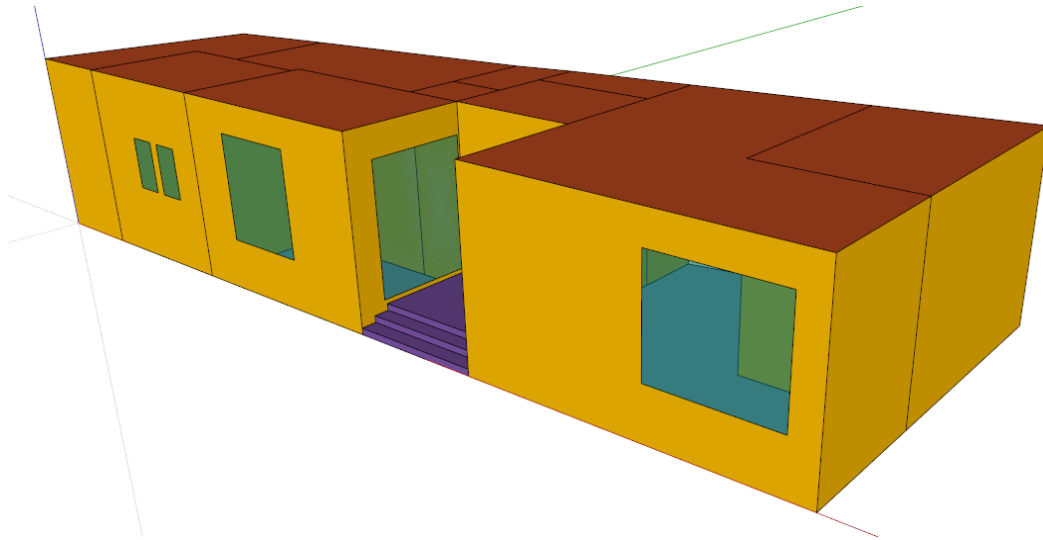


Figura IV.3.- Edificio generado en Sketch Up para estudio en TRNSYS, correspondiente al unifamiliar.

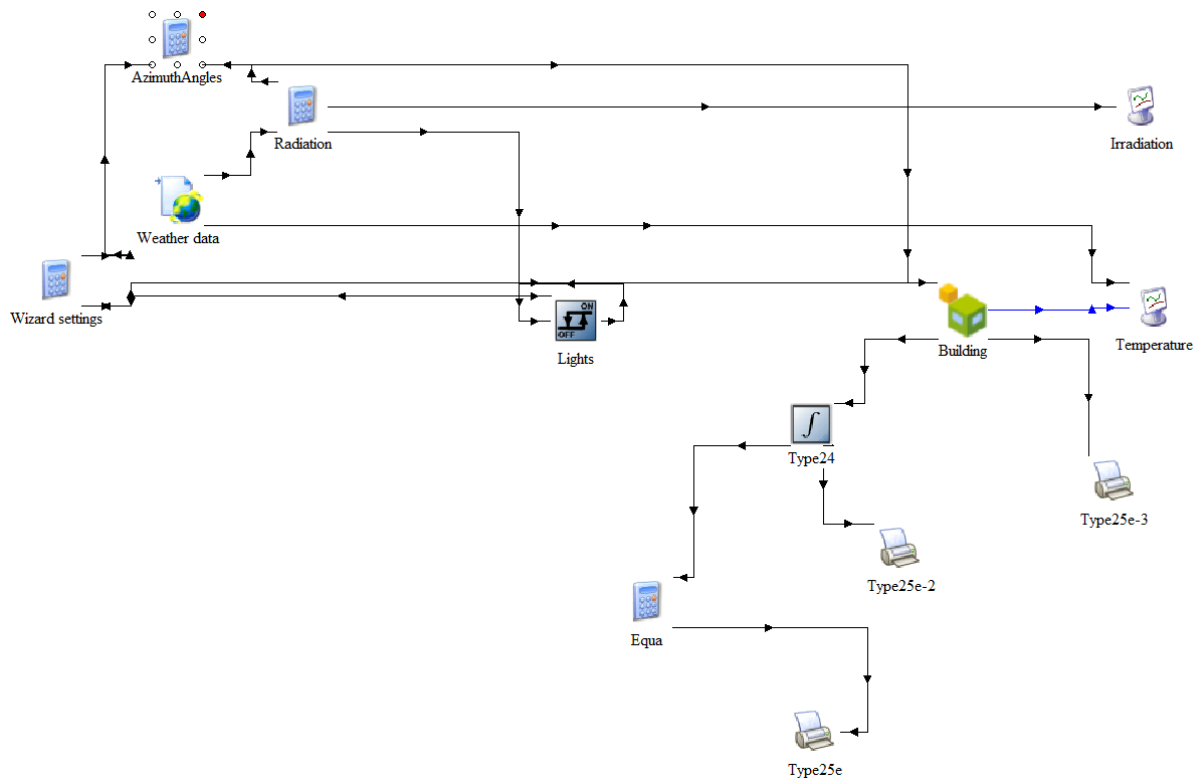


Figura IV.4.- Proyecto creado en TRNSYS, correspondiente al unifamiliar de la tesis.

La exportación a TRNSYS se realiza mediante el guardado del fichero en formato IDF.

Tras esto se ejecuta TRNSYS, pidiéndole la creación de un nuevo proyecto de tipo “3D Building Project (multizone)”, eligiendo el fichero de datos climáticos de Sevilla y el ángulo de rotación del proyecto respecto del norte (23°).

### Definición de cerramientos en TRNSYS

Se procede a la edición de nuestro edificio, identificado por el Type de la figura IV.4. como Building.

La edición se lleva a cabo mediante TRNBuild, aplicación incluida en TRNSYS. En TRNBuild podemos editar cerramientos y sistemas sencillos.

Se procede a la edición de dichos cerramientos y se introducen los del unifamiliar basándonos en cerramientos existentes por defecto de TRNSYS y modificando las características existentes, sustituyéndolas por las del edificio real.

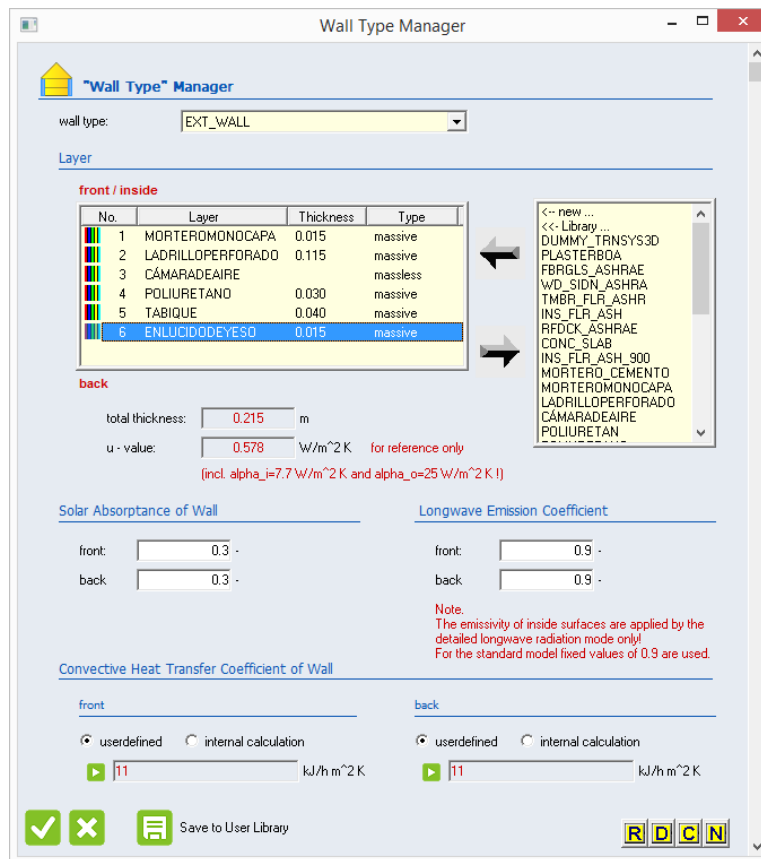


Figura IV.5.- Edición de características constructivas en TRNBuild.

### Definición de sistemas en TRNSYS

En general, los sistemas en TRNSYS se introducen con la adición de nuevos Types al diagrama como el presentado en la figura IV.4., utilizado en nuestro caso.

Sin embargo, para sistemas muy simples, existe la opción en TRNBuild de añadir en los botones “Heating” y “Cooling” sistemas de calefacción y refrigeración, mediante la adición de la potencia de calefacción o refrigeración.

Dado que estos parámetros se conocen del diseño del sistema en CYPE para este caso, se introducen estos parámetros.

### Obtención de demandas

Definido el sistema, se procede a la visualización de resultados mediante el Type 25e de la anterior figura.

Tabla IV.3.- Resultados obtenidos con TRNSYS.

TIME HOURS	HEAT KJ	COOL KJ	CONSUMO KJ
744.00	11487.49	0.00	11487.49
1416.00	20658.55	0.00	20658.55
2160.00	27979.98	0.00	27979.98
2880.00	32861.63	0.00	32861.63
3624.00	35084.42	0.00	35084.42
4344.00	35244.35	0.00	35244.35
5088.00	35244.35	0.00	35244.35
5832.00	35244.35	0.00	35244.35
6552.00	35281.98	0.00	35281.98
7296.00	37214.01	0.00	37214.01
8016.00	45128.00	0.00	45128.00
8760.00	56857.23	0.00	56857.23

De los anteriores resultados se concluye:

- En ningún lugar TRNSYS ha introducido o requerido el concepto de rendimiento de generación, rendimiento de distribución o rendimiento de regulación. Estos rendimientos son los que hacen que haya una diferencia entre demanda y consumo de calefacción en cualquier edificio.
- No hay demanda de refrigeración en ausencia de sistemas de refrigeración introducidos.

El primero de ambos problemas es solventable en parte, dado que el rendimiento de generación lo podemos introducir como un dato de entrada (Type) en el sistema que depende de los parámetros dados por el fabricante. No así el de distribución y regulación.

Ante estas situaciones, y consultado el soporte técnico de TRNSYS, podemos decir:

- El soporte técnico de TRNSYS recomienda no intentar obtener rendimientos en el propio TRNSYS dada la complejidad de la simulación necesaria. A su vez, se plantea con dicho soporte técnico el cálculo de la demanda, que es lo que se está haciendo con el proyecto de TRNSYS generado, y la aplicación de rendimientos horarios o, de forma más simplificada, medios estacionales (esto es utilizado en el tercer procedimiento de referencia presentado en el siguiente punto), siendo esta solución de forma horaria o simplificada la idónea desde la visión de dicho soporte técnico.
- Para calcular la demanda de refrigeración sería necesario introducir un sistema de refrigeración aún siendo éste inexistente. De otra forma, TRNSYS no la calcularía.

#### **IV.1.3. Uso de CYPE como interfaz y EnergyPlus como motor de cálculo**

El uso de CYPE como interfaz gráfica con EnergyPlus como motor de cálculo, se basa en los siguientes pasos:

- Introducción del edificio en CYPE.
- Exportar como EnergyPlus (Simulación dinámica) y obtención de resultados.

##### **Introducción del edificio en CYPE**

Esta etapa ha sido ya estudiada en el punto IV.1.1.

##### **Simulación dinámica y obtención de resultados**

Tanto en la pestaña “Climatización” como en la pestaña “Estudio térmico” tenemos en “Archivo”, la opción de poder exportar como “EnergyPlus. Simulación dinámica”.

La simulación dinámica del edificio con EnergyPlus permite calcular las demandas térmicas de calefacción y refrigeración de cada recinto.

Se procede a hacer una exportación completa del edificio. Esto se debe a que la exportación simplificada hace los cálculos en un menor número de espacios, dados cada uno de ellos por la unión de diversos espacios en el edificio real que posean igual tipología.

Realizadas diversas comparaciones con ambos métodos, se observa que el cálculo aplicando dicha simplificación introduce variaciones importantes en el resultado obtenido, detallado en las tablas IV.4. y IV.5.

En dichas tablas, la diferencia en las demandas calculadas por ambos métodos (la demanda de calefacción disminuye en un 24 % y la de refrigeración aumenta en un 226 %) no es despreciable.

Tabla IV.4.- Resultados de simulación dinámica simplificada de unifamiliar.

Sistema	Recinto	Superficie (m <sup>2</sup> )	Meses (kWh/m <sup>2</sup> )												Total (kWh/m <sup>2</sup> )
			Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
Calefacción	P01_E01	22.25	16.99	12.51	8.45	4.28	0.31	-	-	-	-	1.64	9.07	16.48	69.74
	P01_E02	92.95	16.45	12.09	8.46	4.67	0.72	-	-	-	-	1.73	8.80	15.88	68.81
	P01_E03	2.36	84.24	65.37	52.51	34.45	11.10	0.01	-	-	0.01	14.98	51.59	80.98	395.25
	Total	117.56	17.91	13.24	9.34	5.20	0.85	-	-	-	-	1.98	9.71	17.30	75.54
Refrigeración	P01_E01	22.25	-	-	-	-	0.28	4.86	11.81	11.66	5.21	0.37	-	-	34.19
	P01_E02	92.95	-	-	-	-	0.40	4.55	11.02	10.77	4.94	0.51	-	-	32.19
	Total	115.20	-	-	-	-	0.38	4.61	11.17	10.94	4.99	0.48	-	-	32.57

Nota: P01\_E01 Vivienda completa habitable3  
P01\_E02 Vivienda completa habitable  
P01\_E03 Aseo

Tabla IV.5.- Resultados de simulación dinámica completa de unifamiliar.

Sistema	Recinto	Superficie (m <sup>2</sup> )	Meses (kWh/m <sup>2</sup> )												Total (kWh/m <sup>2</sup> )
			Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
Calefacción	P01_E01	11.11	27.33	20.76	15.54	9.30	1.48	-	-	-	-	3.55	15.98	26.55	120.49
	P01_E02	11.14	23.44	18.07	13.78	8.23	1.48	-	-	-	-	3.34	14.21	22.66	105.22
	P01_E03	15.67	13.81	10.01	6.62	3.29	0.17	-	-	-	-	1.14	6.99	13.19	55.21
	P01_E04	14.04	17.20	12.07	7.44	3.70	0.32	-	-	-	-	1.36	8.55	16.60	67.24
	P01_E05	1.53	16.62	12.02	7.81	3.54	0.08	-	-	-	-	1.10	8.28	16.11	65.57
	P01_E06	2.36	78.80	60.87	48.85	32.30	10.29	0.00	-	-	0.01	13.03	47.20	75.49	366.85
	P01_E07	7.76	15.35	10.78	7.19	3.79	0.21	-	-	-	-	0.97	6.45	14.77	59.52
	P01_E09	37.81	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.00
	P01_E10	16.12	17.19	11.83	7.16	3.21	0.14	-	-	-	-	1.06	7.09	16.22	63.91
	Total	117.56	13.87	10.16	7.08	3.92	0.58	-	-	-	-	1.45	7.26	13.32	57.66
Refrigeración	P01_E03	15.67	-	-	-	-	0.05	5.30	13.56	13.58	6.29	0.32	-	-	39.11
	P01_E04	14.04	-	-	-	-	0.74	8.27	17.90	18.03	9.40	0.98	-	-	55.31
	P01_E05	1.53	-	-	-	-	-	3.89	13.45	13.49	4.69	0.06	-	-	35.58
	P01_E07	7.76	-	-	-	-	0.27	4.80	13.51	14.25	7.58	1.39	-	-	41.81
	P01_E09	37.81	1.08	2.65	6.81	10.55	18.08	24.63	31.16	30.77	24.63	16.52	6.28	1.31	174.45
	P01_E10	16.12	-	-	0.04	0.50	4.73	15.88	26.69	25.68	16.22	3.91	-	-	93.65
Total	92.95	0.44	1.08	2.78	4.38	8.32	15.38	23.65	23.40	16.02	7.72	2.56	0.53	106.24	

Nota: P01\_E01 Baño niños  
P01\_E02 Baño principal  
P01\_E03 Dormitorio niños  
P01\_E04 Dormitorio principal  
P01\_E05 Distribuidor  
P01\_E06 Aseo  
P01\_E07 Recibidor  
P01\_E09 Sal6n  
P01\_E10 Cocina

Por otro lado, en el c6lculo se nos pide el fichero de datos climatol6gicos. Si bien CYPE tiene incorporados estos ficheros para las poblaciones espa1olas, se opta por realizar el c6lculo



aportando el fichero de datos climatológicos desarrollado por EnergyPlus y descargable en su web.

Por último, se procede a comprobar si hubiera diferencia de valor con la simulación dinámica realizada en la pestaña de “Estudio térmico”.

Tabla IV.6.- Resultados de simulación dinámica completa de unifamiliar en pestaña estudio térmico.

Sistema	Recinto	Superficie (m²)	Meses (kWh/m²)												Total (kWh/m²)
			Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
Calefacción	P01_E01	11.11	20.07	14.51	9.33	4.33	0.20	-	-	-	-	1.49	9.90	19.36	79.18
	P01_E02	11.14	17.12	12.52	8.03	3.51	0.14	-	-	-	-	1.33	8.70	16.43	67.79
	P01_E03	15.67	9.62	6.59	3.58	1.25	0.01	-	-	-	-	0.42	4.01	9.11	34.59
	P01_E04	14.04	11.26	7.13	3.07	0.94	0.02	-	-	-	-	0.42	4.29	10.80	37.91
	P01_E05	1.53	13.46	9.21	4.79	1.23	-	-	-	-	-	0.40	5.12	12.97	47.19
	P01_E06	2.36	58.10	41.55	26.91	12.34	1.09	-	-	-	-	4.26	26.53	54.87	225.64
	P01_E07	7.76	7.88	4.88	1.93	0.39	-	-	-	-	-	0.12	1.72	7.56	24.49
	P01_E09	37.81	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.00
	P01_E10	16.12	8.29	5.06	1.76	0.22	-	-	-	-	-	0.13	1.87	7.62	24.96
	Total	117.56	9.14	6.26	3.46	1.34	0.06	-	-	-	-	0.49	3.78	8.70	33.23
Refrigeración	P01_E01	11.11	-	-	-	-	-	0.80	5.77	5.82	1.23	-	-	-	13.63
	P01_E02	11.14	-	-	-	-	-	0.41	4.12	4.25	0.70	-	-	-	9.46
	P01_E03	15.67	-	-	-	-	-	0.73	4.47	4.49	1.29	-	-	-	10.97
	P01_E04	14.04	-	-	-	-	-	2.30	7.17	7.25	2.86	-	-	-	19.58
	P01_E05	1.53	-	-	-	-	-	0.25	4.37	4.84	0.53	-	-	-	9.99
	P01_E06	2.36	-	-	-	-	-	5.33	19.15	18.75	7.04	-	-	-	50.27
	P01_E07	7.76	-	-	-	-	-	1.53	6.63	7.09	2.87	-	-	-	18.13
	P01_E09	37.81	-	-	-	-	-	11.15	16.20	16.00	11.20	-	-	-	54.56
	P01_E10	16.12	-	-	-	-	-	9.22	16.58	16.01	9.35	-	-	-	51.17
	Total	117.56	-	-	-	-	-	5.55	10.75	10.67	5.92	-	-	-	32.89

Nota:

- P01\_E01 Baño niños
- P01\_E02 Baño principal
- P01\_E03 Dormitorio niños
- P01\_E04 Dormitorio principal
- P01\_E05 Distribuidor
- P01\_E06 Aseo
- P01\_E07 Recibidor
- P01\_E09 Salón
- P01\_E10 Cocina

Se observa una variación de los resultados obtenidos en la simulación en la pestaña climatización.

Esta diferencia, no justificada en la documentación del programa analizada, se debe a los perfiles de uso utilizados en ambos casos.

Los perfiles de uso, suma de condiciones operacionales y climatológicas del entorno, son definidos para el cálculo en procedimientos alternativos en el CTE. Estos perfiles, utilizados en los

métodos simplificados de esta tesis, son los usados en la pestaña “Estudio térmico” de CYPE, mientras que en la pestaña “Climatización” se hará uso en la simulación dinámica de los perfiles de uso reales que hayamos definido.

#### **IV.1.4. Elección de metodología de referencia utilizada**

Vistos los distintos procedimientos de referencia utilizados, podemos concluir:

- Introducción de edificios y sistemas en CYPE, exportación a fichero IDF de entrada a EnergyPlus y cálculo en éste: con este procedimiento podemos calcular la demanda del edificio. Para obtener el consumo y las emisiones de CO<sub>2</sub> habrá que encontrar un rendimiento válido que aplicar.
- Introducción de edificios y sistemas en TRNSYS: la simulación del rendimiento global no es posible sin hacer extremadamente complejo el modelo. Al igual que en el anterior caso, se puede obtener la demanda, necesitando aplicar un rendimiento válido.
- Introducción de edificios y sistemas en CYPE, y trabajando desde el propio CYPE con EnergyPlus como motor de cálculo: análogamente a los anteriores, podemos obtener demanda y aplicar rendimiento, para obtener consumos y emisiones de CO<sub>2</sub>.

Dado que en todos los casos llegamos al mismo punto, siendo los resultados obtenidos fiables en cuanto a demanda, optamos por la última forma expuesta, dada su simplicidad y dado que nos aporta una mayor información, puesto que podemos comparar con la demanda calculada con perfiles de uso según el CTE y según valores reales.

#### **Agua Caliente Sanitaria (ACS) e iluminación**

En los anteriores métodos, se ha calculado y hablado de demandas de calefacción y refrigeración, no así de ACS e iluminación.

La iluminación es tenida en cuenta en CYPE para el cálculo de calefacción y refrigeración, estando pues presente en el cálculo.

No es así en el caso de ACS. Si bien se procederá a diseñar un sistema de ACS en el caso de unifamiliar, único de los edificios de estudio en el cuál es exigible por normativa, la demanda de

ACS, que sí es calculada en los métodos generales y simplificados de la normativa española, no es proporcionada por esta metodología, utilizando CYPE y EnergyPlus.

Aún así, se estima que la importancia relativa de esta demanda no debe ser elevada, y en cualquier caso es constante, dado que depende del consumo de ACS, que es igual en todos los casos. Se toma como referencia, en ausencia de otros datos, el valor aportado por CYPETHERM HE, módulo de CYPE no homologado como método alternativo.

### **Rendimiento a aplicar**

Obtenidos los valores de las distintas demandas energéticas, pasamos a estudiar qué rendimientos podemos aplicar.

El rendimiento global es la relación entre las necesidades térmicas que satisfacen y la energía disponible en los combustibles utilizados.

El rendimiento global ( $\eta$ ), pues, debe tener en cuenta:

- Rendimiento de generación,  $\eta_g$
- Rendimiento de distribución,  $\eta_d$
- Rendimiento de regulación,  $\eta_r$

$$\eta = \eta_g \times \eta_d \times \eta_r$$

Cada combustible y tipo de sistema, posee características y rendimientos distintos.

Estos rendimientos poseerán un carácter horario, en virtud de la demanda horaria de cada edificio y sistema. Si bien es así, dadas las simplificaciones de cálculo realizadas por los procedimientos simplificados (la obtención de coeficientes de ponderación para el cálculo del rendimiento medio estacional se detalla para CE3 en el punto 4.4. del “Manual de fundamentos técnicos de calificación energética de edificios existentes CE3” del IDAE) [1], se reproduce el sistema utilizado en ellos, mediante el uso de rendimientos medios estacionales, aplicables a la demanda total anual del edificio.

Se toman los valores de rendimientos de la “Guía para la edificación sostenible” [2]. En su apartado 5, se detallan los rendimientos globales de instalaciones energéticas. Se usan estos valores como rendimientos medios estacionales en nuestros casos de estudio.

Cuando no se definan en proyecto equipos para un servicio de climatización se considerarán las eficiencias de los sistemas dadas por el DB HE0 en su apartado 4.3.: producción de calor (mediante gas natural) 0,92 y producción de frío (mediante electricidad 2,00).

Por último comentar que, en general, en este capítulo se hablará de rendimiento, que en el caso de una bomba de calor, por ejemplo, se correspondería con el valor del C.O.P.

### **Factores de emisión de CO<sub>2</sub> o factor de conversión**

Los factores de emisión de CO<sub>2</sub> de energía final en virtud del tipo de energía utilizada en el sector de edificios, se han tomado del anexo VI del documento “Factores de emisión de CO<sub>2</sub> y coeficientes de paso a energía primaria de diferentes fuentes de energía final consumidas en el sector edificios en España” [3], en su valor peninsular.

## **IV.2. PROCEDIMIENTOS SIMPLIFICADOS**

Dada la descripción de los procedimientos simplificados hecha en el capítulo III, procedemos a la elección de los utilizados en esta tesis.

Se plantea el uso de CERMA en aquellos casos en que sea válido.

A su vez, y como se justificó previamente, optaremos por el uso de CE3 frente a CE3X en todos los casos.

Así pues se estudiarán:

- Vivienda unifamiliar: CERMA y CE3.
- Edificio de oficinas: CE3.
- Aulario universitario: CE3.

A su vez, CE3 se basa en 3 procedimientos y motores de cálculos distintos según el tipo de edificio del que se trate. En el estudio de CE3 nuestros edificios serán una vivienda (unifamiliar), un pequeño y mediano terciario (edificio de oficinas) y el Aulario universitario. Para poder probar todos los procedimientos del CE3 se estudiará el edificio Aulario como gran terciario, aunque dado el sistema de calefacción y refrigeración que incorpora, podría estudiarse como pequeño y mediano terciario.

Por otro lado, la introducción de la geometría en CE3 se puede hacer de 4 formas (por tipología, por superficies y orientaciones, con ayuda de planos y por importación de LIDER/CALENER), eligiéndose la introducción mediante superficies y orientaciones en el unifamiliar con las características de diseño de CYPE y por importación de planos LIDER/CALENER en oficinas y aula.

#### **IV.2.1. Simplificaciones realizadas por los procedimientos simplificados**

Se analizarán la documentación y los manuales existentes acerca de los 2 procedimientos simplificados que vamos a usar, CERMA y CE3, para poder conocer las simplificaciones que realizan ambos programas y poder así valorar y entender las diferencias en los resultados que se obtengan.

##### **Simplificaciones en CE3**

A continuación se detallan algunas de las simplificaciones hechas por el método simplificado, mencionadas en el “Manual de fundamentos técnicos de calificación energética de edificios existentes CE3” [1] del IDAE. Se recogen sólo aquellas de mayor importancia a nivel conceptual, sin entrar en un análisis detallado de las mismas.

Las simplificaciones expuestas son respecto del procedimiento de cálculo CALENER.

##### Procedimiento para la obtención de la demanda energética de calefacción y refrigeración

Se procede en CE3 al desarrollo de un procedimiento multizona en base horaria para la obtención de la demanda energética de calefacción y refrigeración. En dicho procedimiento se realizan las siguientes simplificaciones:

- No hay acoplamiento térmico ni intercambio de flujo de aire entre zonas del edificio.
- El efecto de zonas adyacentes no acondicionadas se modela mediante el coeficiente de corrección de temperatura (b) tal como se indica en la CTE-HE1 [4].
- El paso de ganancias a cargas y el tratamiento de las situaciones de oscilación libre se efectúa con factores de ponderación precalculados, en lugar de utilizar los específicos de cada zona.
- Las sombras propias del edificio, las debidas a la presencia de otros edificios u obstáculos adyacentes y las sombras producidas sobre huecos por obstáculos de

fachada se determinan mediante un conjunto de factores de sombra mensuales. Se desprecia el efecto de las sombras sobre cerramientos opacos.

#### Procedimiento para la obtención de las prestaciones medias estacionales de equipos de producción de frío y calor

Para edificios de viviendas, las prestaciones medias estacionales se determinan mediante el procedimiento de factor de ponderación del documento reconocido “Prestaciones medias estacionales de equipos y sistemas de producción de frío y calor en edificios de viviendas” [w-1]. El factor de ponderación se determina en función del tipo de equipo, grado de centralización, tipo de edificio y zona climática.

Para pequeños y medianos terciarios, las prestaciones medias estacionales para cada sistema y grado de centralización se han obtenido en forma de correlaciones que dependen del clima y de las características de uso del edificio donde está situado.

#### Procedimiento de simulación en base horaria para la simulación de equipos y sistemas de producción de calor y frío

El comportamiento de los equipos y sistemas para grandes edificios terciarios se hace en base a un procedimiento de simulación simplificado en base horaria.

Todos los modelos de equipos y sistemas que incluye están basados en los de CALENER-GT, aunque con ciertas simplificaciones. Dentro de estas simplificaciones, las más importantes son:

- En todas las horas se supone que la demanda del edificio se cubre totalmente.
- Se considera que cada equipo combate la carga que se le asigna de forma que, aún si no tiene capacidad suficiente, no se ven afectados el resto de los equipos.
- No existen los circuitos. La comunicación entre equipos se realiza a través de los árboles de conexiones, que permiten el paso de potencias de unos equipos a otros sin necesidad de conocer las temperaturas que habría en cada punto del lazo hidráulico.
- Las únicas temperaturas que entran en juego son las de las masas de aire – caudales de ventilación, de infiltración, retornos, temperaturas internas de los locales y temperatura exterior, necesarias para los cálculos psicrométricos de la

evolución del aire y para el cálculo del consumo de los ventiladores de los equipos de distribución de aire.

- La cuantificación de las pérdidas en circuitos y conductos se hace a través de un porcentaje de la potencia transportada. Las pérdidas en conductos se traducen de esta manera en un aumento de la carga sensible de la zona y las pérdidas en tuberías como un aumento de la potencia demandada del secundario al primario o del primario al sistema de generación.
- Dado que no se conocen las temperaturas de los lazos hidráulicos, se supone que las temperaturas de funcionamiento de todos los equipos son las correspondientes nominales.

Existen una serie de simplificaciones en el documento que se ha mencionado relativas a sistemas primarios y secundarios, pero no se entra en más detalle en esta tesis ya que su objeto es comprobar que efecto provocan las simplificaciones en los cálculos y no estudiar conceptualmente dichas simplificaciones.

#### **Simplificaciones en CERMA**

Dado la ausencia de una guía de fundamentos técnicos como en el caso anterior, y de la escasa bibliografía referente a CERMA disponible, no se ha encontrado información referente a las simplificaciones que realiza.

### IV.3. REFERENCIAS

[1] IDAE. Manual de fundamentos técnicos de calificación energética de edificios existentes CE3. M-26893-2012. Madrid, Julio de 2.012.

[2] Instituto Cerdá, Ministerio de fomento e IDAE (Instituto de Diversificación y Ahorro de la Energía). Guía para la Edificación Sostenible. Julio 1999.

[3] Ministerio de Industria, Energía y Turismo, IDAE (Instituto de Diversificación y Ahorro de la Energía). Factores de emisión de CO<sub>2</sub> y coeficientes de paso a energía primaria de diferentes fuentes de energía final consumidas en el sector edificios en España. 3 de Junio de 2.014.

[4] CTE. Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación.

#### **Páginas web**

[w-1] Ministerio de Industria, Energía y Turismo. Prestaciones medias estacionales de equipos y sistemas de producción de frío y calor en edificios de viviendas. Disponible en Junio de 2.015 en:

[http://www.minetur.gob.es/energia/desarrollo/EficienciaEnergetica/CertificacionEnergetica/DocumentosReconocidos/OtrosDocumentos/Calificaci%C3%B3n%20energ%C3%A9tica.%20Viviendas/Prestaciones\\_medias\\_estacionales.pdf](http://www.minetur.gob.es/energia/desarrollo/EficienciaEnergetica/CertificacionEnergetica/DocumentosReconocidos/OtrosDocumentos/Calificaci%C3%B3n%20energ%C3%A9tica.%20Viviendas/Prestaciones_medias_estacionales.pdf)



## CAPÍTULO V.- SISTEMAS, CÁLCULOS Y RESULTADOS

RESUMEN .....	196
ABSTRACT.....	197
V.1. CONSIDERACIONES GENERALES.....	200
V.2. VIVIENDA UNIFAMILIAR.....	202
V.2.1. Sistemas de calefacción .....	203
V.2.2. Sistemas de refrigeración.....	215
V.2.3. Sistemas de climatización: calefacción y refrigeración .....	226
V.3. OFICINAS .....	239
V.3.1. Caso 10: Sistema de agua en calefacción y sistema aire-agua en refrigeración. ....	242
V.3.2. Caso 11: Sistema aire-agua en calefacción y refrigeración. ....	249
V.3.3. Caso 12: Unidad de aire acondicionado con sistema multisplit.....	252
V.3.4. Resumen de demandas, consumos y emisiones del edificio unifamiliar .....	255
V.4. EDIFICIO UNIVERSITARIO (CASO 13) .....	256
V.4.1. Definición de sistema en CYPE .....	256
V.4.2. Introducción de sistemas en CE3 .....	258
V.4.3. Resultados.....	260
V.4.4. Rendimiento medio estacional y factor de conversión.....	260
V.4.5. Análisis de resultados del caso.....	261
V.5. FICHEROS DE DATOS CLIMATOLÓGICOS .....	262
V.5.1. Ficheros *.met.....	262
V.5.2. Ficheros *.epw .....	263
V.5.3. Resultados obtenidos.....	264
V.6. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	264
V.6.1. CERMA.....	264
V.6.2. CE3.....	269
V.7. CYPE CON PERFILES DE USO REAL.....	278
V.8. REFERENCIAS.....	281



## RESUMEN

En este capítulo, definidos los edificios de comparación, el método de referencia y los procedimientos simplificados elegidos en esta tesis, se procede al análisis de cada caso.

Se diseña en cada uno de ellos el sistema elegido para su estudio y se aplica el método de referencia y los procedimientos simplificados. Se obtienen valores de demanda, consumo y emisiones de CO<sub>2</sub>.

Una vez obtenidos los anteriores indicadores, en cada caso, se procede a la obtención de los parámetros extraíbles de los cálculos de los procedimientos simplificados que nos aportan información del origen de la diferencia de resultados obtenidos. Estos parámetros son el factor de conversión de energía final en emisiones de CO<sub>2</sub> y el rendimiento medio estacional utilizado.

Finalmente se procede a realizar un análisis de los resultados.



**ABSTRACT**

In this chapter, defined comparison buildings, the method of reference and simplified procedures chosen in this thesis, the thesys shows the analysis of each case.

The system chosen for study is designed in each of them and it's applied the reference method and the simplified procedures. Demand, consumption and CO<sub>2</sub> emissions values are obtained.

Once obtained the previous indicators, in each case, the removable parameters of calculations of the simplified procedures are obtained, which provide us with information of the origin of the difference in results. These parameters are the conversion factor of final energy in emissions of CO<sub>2</sub> and the average seasonal performance used.

Finally, an analysis of the results is performed.



## V.1. CONSIDERACIONES GENERALES

La estructura general seguida para el estudio de cada caso es:

- 1.- Modelado de la geometría y composición de cerramientos del edificio de comparación en CYPE.
- 2.- Diseño del sistema seleccionado para su estudio.
- 3.- Aplicación del método de referencia para la obtención de demanda, consumo y emisiones de CO<sub>2</sub> según dicho método.
- 4.- Aplicación de los procedimientos simplificados para la obtención de demanda, consumo y emisiones de CO<sub>2</sub> según dichos procedimientos.
- 5.- Obtención del rendimiento medio estacional y factor de conversión de energía final en emisiones de CO<sub>2</sub> utilizados por los procedimientos simplificados.
- 6.- Análisis de resultados del caso.

La nomenclatura de casos seguida es la siguiente:

Tabla V.1.- Casos estudiados.

CASO	Edificio y sistema
	Unifamiliar
	Calefacción
1	Radiadores
2	Suelo radiante
3	Bomba de calor y fancoils
	Refrigeración
4	Splits
5	Bomba de calor y fancoils
6	Suelo refrescante
	Climatización
7	Radiadores en baños y aseos y splits en el resto del edificio
8	Suelo radiante y refrescante
9	Bomba de calor y fancoils
	Oficinas
10	Sistema de agua en calefacción y sistema aire-agua en refrigeración
11	Sistema aire-agua en calefacción y refrigeración
12	Unidad de aire acondicionado con sistema multisplit
	Aulario universitario
13	Sistema de calefacción por radiadores

A su vez, y con carácter general en todo el capítulo, se debe tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- En general, en los métodos simplificados CERMA y CE3, se ha reflejado en el apartado de resultados el valor dado por el programa, no correspondiéndose en ocasiones la suma de los valores de calefacción, refrigeración y ACS/iluminación con el valor total. Se entiende que es debido a un ajuste de decimales, pero se ha optado por dejar el valor dado por el programa.
- Se diseña el sistema de calefacción y/o refrigeración del edificio en CYPE para cumplir con la carga térmica calculada según la normativa actual.
- Los rendimientos de los sistemas ausentes, se obtienen del DB-HE0 en su punto 4.3. Cuando no se definan en proyecto equipos para un servicio de climatización se considerarán las eficiencias de los sistemas de referencia, que se indican en la tabla 2.2 de dicho apartado. En ella se dice que la producción de frío es con electricidad y rendimiento de 2, y la de calor con gas natural y rendimiento de 0,92.
- Se plantea la obtención del factor de conversión según la expresión:

$$\text{Consumo} = \frac{\text{Demanda}}{\eta} \quad (\text{Ecuación V.1.})$$

$$\text{Emisiones} = \text{Consumo} \cdot f \quad (\text{Ecuación V.2.})$$

$$f = \frac{\text{Emisiones} \cdot \eta}{\text{Demanda}} \quad (\text{Ecuación V.3.})$$

Consumo y demanda en kWh/m<sup>2</sup>

Emisiones en kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>

$\eta$  : Rendimiento medio estacional

$f$  : Factor de conversión (kWh/m<sup>2</sup> de energía final – emisiones de CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>)

En el caso de CE3, obtenidos la demanda y el consumo, se puede conocer el valor de  $\eta$  mediante la ecuación V.1. El valor del factor  $f$  que está utilizando el procedimiento simplificado, es conocido mediante las ecuaciones V.2. o V.3.

En CERMA, se expresan valores de emisiones de CO<sub>2</sub> y demandas en la pantalla principal de resultados, no de consumos, obtenibles mediante los rendimientos medios estacionales utilizados, visibles en dicha pantalla, o analizando la documentación aportada en la pantalla de detalle.



- El rendimiento de un sistema de máquina frigorífica, en ausencia de datos en la “Guía para la Edificación Sostenible” [1], se estima como: rendimiento sistema BC calefacción -1. Esto se basa en la propia definición de COP en un ciclo frigorífico simple o ideal, que cumple en COPs instantáneos [2]:

$$COP_{CALEF} = \frac{\dot{Q}_C}{\dot{W}} = \frac{\dot{Q}_C}{\dot{Q}_C - \dot{Q}_F} = \frac{\dot{Q}_F + (\dot{Q}_C - \dot{Q}_F)}{\dot{Q}_C - \dot{Q}_F} = \frac{\dot{Q}_F}{\dot{Q}_C - \dot{Q}_F} + 1 = COP_{REF} + 1 \quad (\text{Ecuación V.3.})$$

Podemos ver esto en el siguiente diagrama:

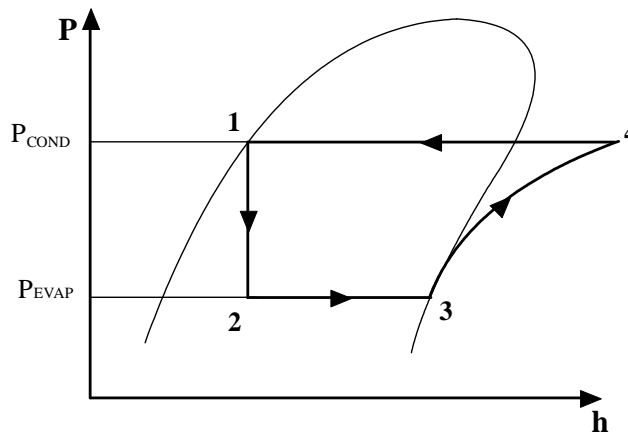


Figura V.1.- Diagrama P-h del ciclo simple por compresión de vapor.

## V.2. VIVIENDA UNIFAMILIAR

Las imágenes y composición de cerramientos de la vivienda unifamiliar han sido vistos previamente en capítulo III.

La introducción de la geometría y cerramientos del edificio en CERMA y CE3 se realizó según las explicaciones realizadas en dicho capítulo. En dicha introducción, se han tomado las medidas y parámetros térmicos obtenidos en CYPE: transmitancia, densidad superficial y renovaciones de aire (0,79 renovaciones/h).

El sistema de ACS es común en todos los casos de este edificio de comparación. Dicho sistema está compuesto por una red de tuberías y un sistema de generación consistente en una caldera eléctrica de 2 kW. Esta caldera se supondrá independiente de la que se pueda utilizar en cada caso para el sistema de calefacción, con objeto de no tener que ser modificada dependiendo de que la calefacción se diseñe o no con caldera.

### V.2.1. Sistemas de calefacción

#### Caso 1: Calefacción con radiadores

##### Definición de sistema en CYPE

El sistema de generación está formado por una caldera eléctrica mural de 10 kW.

Se incorporan radiadores y toalleros según la tabla V.2.

Tabla V.2.- Listado de emisores del caso 1 en unifamiliar.

Recintos	Tipo de emisor	Tipo	Pérdidas caloríficas (W)	Elementos		Longitud (mm)	Potencia (W)
				Número	Altura (mm)		
Aseo	Toallero	1	373			500	623
Baño niños	Toallero	1	789			500	623
	Toallero	1	789			500	623
Baño principal	Toallero	1	563			500	623
Cocina	Radiador	1	1140	14	425	1120	1185
Distribuidor	Radiador	1	46	2	425	160	169
Dormitorio niños	Radiador	2	859	8	575	640	893
Dormitorio principal	Radiador	2	1237	12	575	960	1340
Recibidor	Radiador	1	808	10	425	800	846
Salón	Radiador	2	2248	11	575	880	1228
	Radiador	2	2248	10	575	800	1117

##### Radiadores tipo:

1: Radiador de aluminio inyectado, formado por elementos de 425 mm de altura, con frontal plano, con una emisión calorífica de 74,7 kcal/h cada uno, según UNE-EN 442-1, para una diferencia media de temperatura de 50°C entre el radiador y el ambiente.

2: Radiador de aluminio inyectado, formado por elementos de 575 mm de altura, con frontal plano, con una emisión calorífica de 98,6 kcal/h cada uno, según UNE-EN 442-1, para una diferencia media de temperatura de 50°C entre el radiador y el ambiente.

##### Toalleros tipo:

1: Radiador toallero tubular de chapa de acero acabado blanco, para cuartos de baño, serie Isis "NOKEN", de 500x1133 mm y emisión calorífica 549 kcal/h para una diferencia media de temperatura de 50°C entre el radiador y el ambiente.

**Introducción de sistema en CERMA y CE3**

La introducción del sistema en CERMA se hace mediante sistema de calefacción con caldera eléctrica, existente en dicho programa.

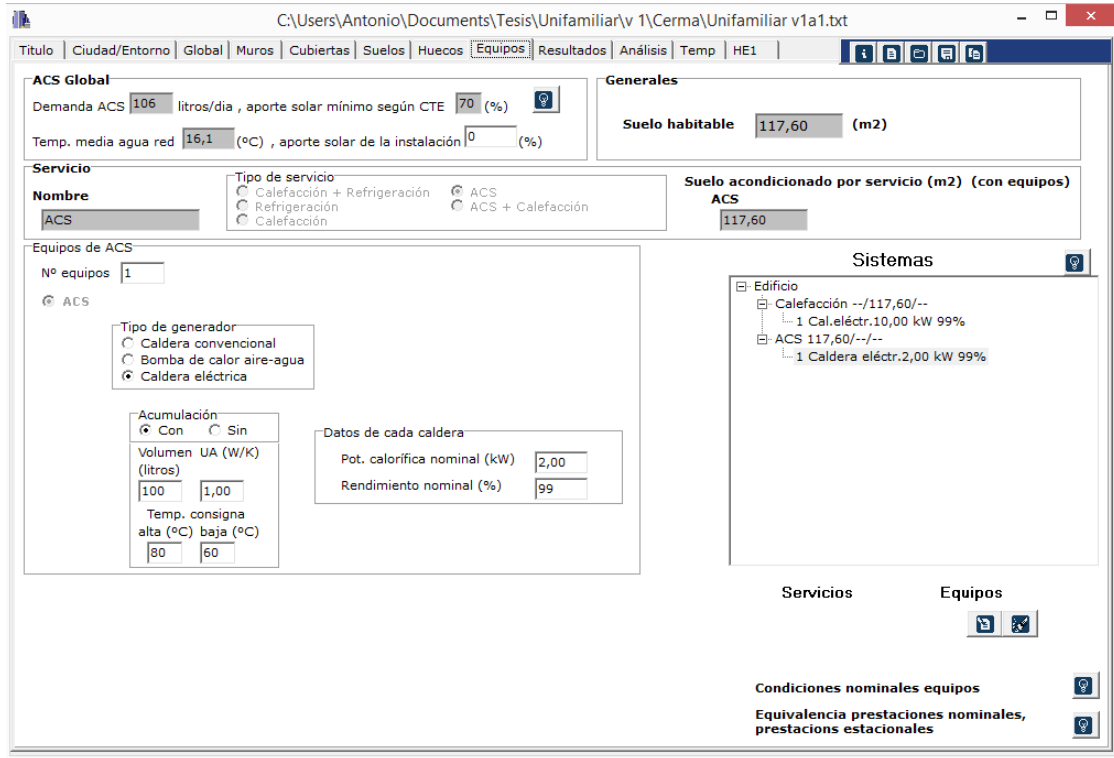


Figura V.2.- Introducción de sistema del caso 1 en CERMA.

Por su parte, la introducción en CE3 se lleva a cabo con idénticos parámetros.

En este caso en CE3, dada la posibilidad, al igual que en CERMA, de introducir el sistema como uno de los existentes en el programa o como un sistema de rendimiento medio estacional conocido, se opta por su análisis con la introducción del sistema mediante ambas formas, para poder comparar también así ambos métodos.

Así pues, desde el punto de vista de CE3, el caso se subdivide en los 2 siguientes:

Tabla V.3.- Subdivisión del caso 1 según la introducción del sistema en CE3.

Casos
Caso 1A: Caldera de calefacción
Caso 1B: Rendimiento medio estacional conocido

**Definición de sistemas de acondicionamiento**

Sistemas para viviendas | **Sistemas para Terciarios Pequeños y Medianos** | Sistemas para Grandes Terciarios

Sistema principal de calefacción

Equipo principal: Caldera calefacción eléctrica  
 Combustible: Electricidad  
 Potencia Nominal (kW): 10,00  
 Año instalación o última renovación: 2006 Rendimiento Nominal (%): 99,00  
 Rend. Estacional (RITE IT04) (%): 1,00  
 Porcentaje de sup.acondicionada: 100,00

Sistema secundario de calefacción

Equipo secundario: Caldera calefacción combustión estándar  
 Combustible: Gas Natural  
 Potencia Nominal (kW): 0,00  
 Año instalación o última renovación: 2006 Rendimiento Nominal (%): 0,00  
 Rend. Estacional (RITE IT04) (%): 0,00  
 Porcentaje de sup.acondicionada: 0,00

Sistema principal de refrigeración

Equipo principal: Equipo(s) tipo split/multisplit  
 Combustible: Electricidad  
 Potencia Nominal (kW): 0,00  
 Año instalación o última renovación: 2006 EER Nominal: 0,00  
 EER Estacional (RITE IT04) (%): 0,00  
 Porcentaje de sup.acondicionada: 100,00

Sistema secundario de refrigeración

Equipo secundario: Equipo(s) tipo split/multisplit  
 Combustible: Electricidad  
 Potencia Nominal (kW): 0,00  
 Año instalación o última renovación: 2006 EER Estacional: 0,00  
 EER Estacional (RITE IT04) (%): 0,00  
 Porcentaje de sup.acondicionada: 0,00

Sistema principal de ACS

Equipo principal: Caldera ACS eléctrica  
 Combustible: Electricidad  
 Potencia Nominal (kW): 2,00  
 Año instalación o última renovación: 2006 Rendimiento Nominal (%): 99,00  
 Rend. Estacional (RITE IT04) (%): 0,00  
 Porcentaje de energía solar: 0,00

Ventilación e Infiltración

Ventilación e infiltración equivalente en renovaciones por hora (1/h): 0,8

Aceptar Cancelar

Figura V.3.- Introducción de sistema del caso 1A en CE3.

**Definición de sistemas de acondicionamiento**

Sistemas para viviendas | **Sistemas para Terciarios Pequeños y Medianos** | Sistemas para Grandes Terciarios

Sistema principal de calefacción

Equipo principal: Caldera calefacción eléctrica  
 Combustible: Electricidad  
 Potencia Nominal (kW): 10,00  
 Año instalación o última renovación: 2006 Rendimiento Nominal (%): 99,00  
 Rend. Estacional (RITE IT04) (%): 1,00  
 Porcentaje de sup.acondicionada: 100,00

Sistema secundario de calefacción

Equipo secundario: Caldera calefacción combustión estándar  
 Combustible: Gas Natural  
 Potencia Nominal (kW): 0,00  
 Año instalación o última renovación: 2006 Rendimiento Nominal (%): 0,00  
 Rend. Estacional (RITE IT04) (%): 0,00  
 Porcentaje de sup.acondicionada: 0,00

Sistema principal de refrigeración

Equipo principal: Equipo(s) tipo split/multisplit  
 Combustible: Electricidad  
 Potencia Nominal (kW): 0,00  
 Año instalación o última renovación: 2006 EER Nominal: 0,00  
 EER Estacional (RITE IT04) (%): 0,00  
 Porcentaje de sup.acondicionada: 100,00

Sistema secundario de refrigeración

Equipo secundario: Equipo(s) tipo split/multisplit  
 Combustible: Electricidad  
 Potencia Nominal (kW): 0,00  
 Año instalación o última renovación: 2006 EER Estacional: 0,00  
 EER Estacional (RITE IT04) (%): 0,00  
 Porcentaje de sup.acondicionada: 0,00

Sistema principal de ACS

Equipo principal: Caldera ACS eléctrica  
 Combustible: Electricidad  
 Potencia Nominal (kW): 2,00  
 Año instalación o última renovación: 2006 Rendimiento Nominal (%): 99,00  
 Rend. Estacional (RITE IT04) (%): 0,00  
 Porcentaje de energía solar: 0,00

Ventilación e Infiltración

Ventilación e infiltración equivalente en renovaciones por hora (1/h): 0,8

Aceptar Cancelar

Figura V.4.- Introducción de sistema del caso 1B en CE3.

## Resultados

Los resultados obtenidos mediante nuestro método de referencia y procedimientos simplificados son:

Tabla V.4.- Indicadores obtenidos en el caso 1<sup>2</sup>.

	Demanda (kWh/m <sup>2</sup> )					Consumo (kWh/m <sup>2</sup> )					Emisiones de CO <sub>2</sub> (kg/m <sup>2</sup> )				
	Calefacción	Refrigeración	ACS	TOTAL	Diferencia (%)	Calefacción	Refrigeración	ACS	TOTAL	Diferencia (%)	Calefacción	Refrigeración	ACS	TOTAL	Diferencia (%)
CYPE / E+	33,23	32,89	14,60	80,72		33,23	16,45	16,59	66,27		12,36	6,12	6,17	24,65	
CERMA	60,30	30,40	20,30	111,00	38%						39,40	11,60	13,30	63,80	159%
CE3 - 1A	64,26	43,36	16,75	124,37	54%	114,83	17,99	16,92	149,74	126%	74,53	11,68	10,98	97,19	294%
CE3 - 1B	64,26	43,36	16,75	124,37	54%	64,26	17,99	16,92	99,17	50%	41,70	11,68	10,98	64,36	161%

## Rendimiento medio estacional y factor de conversión

Tabla V.5.- Rendimiento medio estacional y factor de conversión obtenidos en el caso 1<sup>3</sup>.

	Rendimiento			Factor de conversión (kg CO <sub>2</sub> /kWh E. final)		
	Calefacción	Refrigeración	ACS	Calefacción	Refrigeración	ACS
CYPE / E+	1,00	2,00	0,88	0,37	0,37	0,37
CERMA	0,99	1,70	0,99	0,65	0,76	0,58
CE3 - 1A	0,56	2,41	0,99	0,65	0,65	0,65
CE3 - 1B	1,00	2,41	0,99	0,65	0,65	0,65

## Análisis de resultados del caso

Se analizan separadamente cada indicador y cada parámetro obtenido.

### Demanda de energía

La demanda global obtenida en el caso es inferior en EnergyPlus que en CERMA o CE3, si bien la diferencia es mayor respecto de CE3 que respecto de CERMA.

Como era de esperar, no hay diferencias de valores entre los casos 1A y 1B en CE3, dado que en ambos cambia la forma de introducción del sistema, sin afectar a la demanda.

La demanda de calefacción obtenida por los procedimientos simplificados posee valores parecidos entre sí, pero de casi el doble que el valor obtenido en EnergyPlus.

<sup>2</sup> Los resultados porcentuales expresados en este capítulo se obtienen como (valor E+ - valor procedimiento)·100 / valor E+.

<sup>3</sup> No se detallan los consumos en CERMA, dado que no aparecen en la pantalla principal de resultados. Estos valores pueden ser obtenidos a partir de la demanda con la aplicación del rendimiento medio estacional. Esto se repetirá en todos los casos.

En cuanto a la refrigeración, CE3 da un resultado mayor en un 32 % que el valor obtenido en EnergyPlus, mientras que el valor de CERMA es bastante similar al de nuestro método de referencia.

#### *Consumo de energía*

Los casos 1A y 1B de CE3 poseen una elevada diferencia entre sí y con respecto a nuestro método de referencia. El caso 1A es el de mayor diferencia, pero en ambos se debe principalmente al consumo de calefacción calculado, ya que en refrigeración y ACS poseen valores parecidos a los obtenidos con EnergyPlus.

#### *Emisiones de CO<sub>2</sub>*

En emisiones, sin embargo, el valor porcentual en todos los datos obtenidos, tanto en calefacción, como en refrigeración, como en ACS, es muy diferente del obtenido con EnergyPlus.

El caso más desfavorable es el 1A, de introducción del sistema en CE3 como sistema elegido entre los existentes en dicho procedimiento.

#### *Rendimiento medio estacional*

En cuanto a los rendimientos que están utilizando los procedimientos simplificados, observamos que, en ausencia de sistema de refrigeración, CERMA y CE3 no están teniendo en cuenta el valor aportado por el DB HE0 del CTE [4], con energía eléctrica y rendimiento medio estacional 2.

El rendimiento del sistema de calefacción es similar en todos los casos, salvo en el 1A, donde se reduce en un 44 %.

#### *Factor de conversión*

El factor de conversión debe poseer el mismo valor en todos los datos de la tabla V.5., ya que la energía utilizada es siempre la electricidad, en calefacción y ACS porque lo hemos diseñado así, y en refrigeración por ser el tipo de energía usado por defecto en ausencia de este sistema. Esto, sin embargo, no ocurre.

Los valores en CERMA y CE3, si bien son valores diferentes, se repite un factor de 0,65. Este valor, común a CERMA y CE3, difiere en un 74% del publicado en Marzo de 2.014 [5].

## Caso 2: Calefacción con suelo radiante

### Definición de sistema en CYPE

Se procede al dimensionado en CYPE del suelo radiante (con una temperatura máxima de 29 °C), utilizando el suelo radiante perimetral en aquellas zonas en las que siendo posible, es necesario (con temperaturas de 35 °C).

El sistema de suelo radiante será abastecido por agua calentada en una caldera eléctrica mural de 10 kW.

El colector es modular de plástico de 1" de diámetro, modelo Vario Plus "UPONOR IBERIA" y panel porta tubos de 13 mm de espesor, con tubos de polietileno reticulado (PE-X) de 16 mm.

Tabla V.6.- Potencias instaladas ( $P_{inst}$  calefacción) y requeridas ( $P_{req}$  calefacción) calculadas.

Armario de colectores	Circuito	Recinto	$P_{inst}$ calefacción (Kcal/h)	$P_{req}$ calefacción (Kcal/h)
CC 1	C 1	Baño niños	654.7	657.6
	C 2	Baño principal	505.2	461.8
	C 3	Dormitorio niños	717.4	707.6
	C 4	Dormitorio principal	464.3	875.5
	C 5	Cocina	947.1	948.4
	C 6	Salón	1057.3	1052.6
	C 7	Salón	808.0	804.4
	C 8	Distribuidor	107.9	184.4
	C 9	Recibidor	263.1	263.1
	C 10	Aseo	149.9	256.3
	C 11	Dormitorio principal	324.9	160.2
	C 12	Recibidor	243.7	416.5

Se observa que, optimizando el diseño, dada la altura del edificio, el suelo radiante no es capaz de compensar la carga térmica punta en 2 espacios: aseo y dormitorio principal. En el dormitorio principal, la potencia instalada es de 825,64 kcal/h, teniendo una carga máxima en invierno de 1075,35 kcal/h. Por su parte, en el aseo es de 150,80 kcal/h frente a 316,10 kcal/h.

Si bien el sistema no es capaz de cumplir con la demanda existente, para poder sacar conclusiones, supondremos que lo es, despreciando esa carga que no es capaz de compensar.

A tal efecto se procederá con este caso como lo hacen los métodos simplificados, suponiendo que el sistema es capaz y simplemente anotando un error en el espacio y sistema oportuno (según se describe en el manual de fundamentos técnicos de CE3 [3]).

**Introducción de sistema en CERMA y CE3**

La introducción del sistema de estudio en CE3 se lleva a cabo con rendimiento medio estacional conocido.

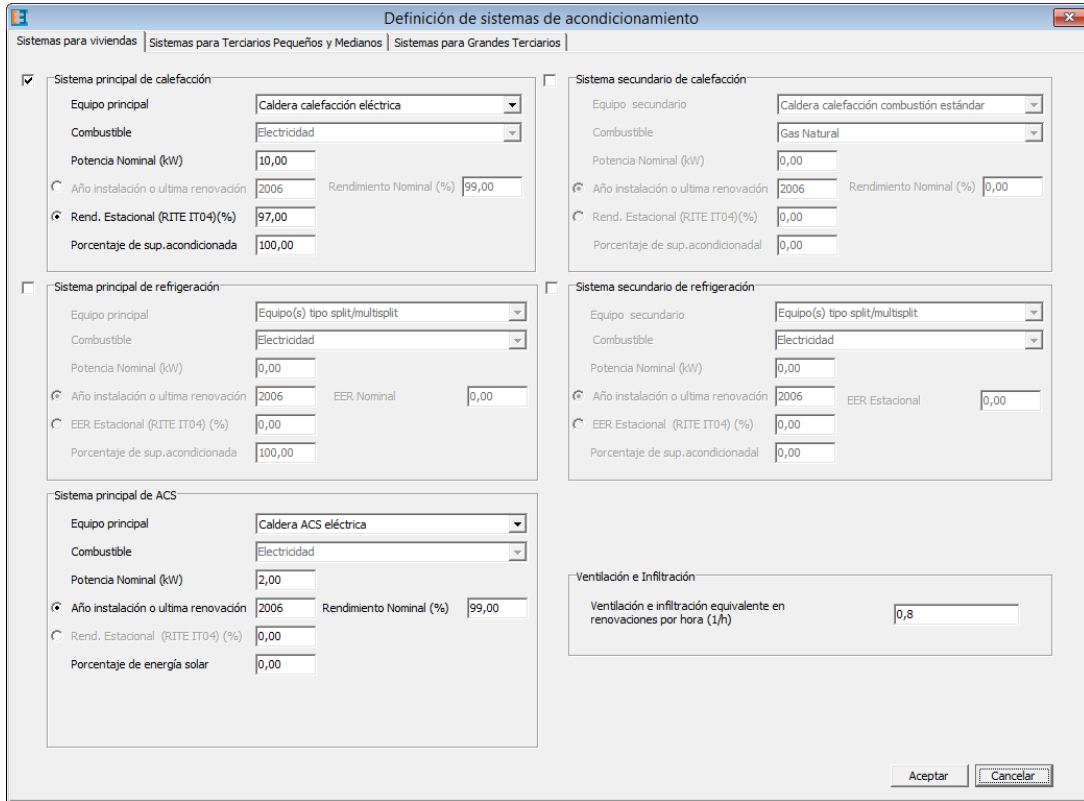


Figura V.5.- Introducción de sistema del caso 2 en CE3.

Al igual que anteriormente en CE3, en CERMA existe la posibilidad de introducir el sistema como uno de los sistemas existentes en el programa (tomando un sistema de radiadores) o como un sistema de rendimiento medio estacional conocido. Se opta por su análisis de ambas formas en CERMA:

Tabla V.7.- Subdivisión del caso 2 según la introducción del sistema en CERMA.

Casos
Caso 2A: Multizona por radiadores
Caso 2B: Rendimiento medio estacional conocido

Un sistema de suelo radiante no es equivalente a un sistema de radiadores, principalmente debido a la temperatura de circulación del agua por las tuberías, ya que en el caso de suelo radiante son sistemas a baja temperatura estando limitada ésta a 29°C (salvo en bandas perimetrales en las que se puede llegar a 35 °C). Sin embargo, es el sistema de los existentes en CERMA que poseer una mayor similitud con el nuestro.



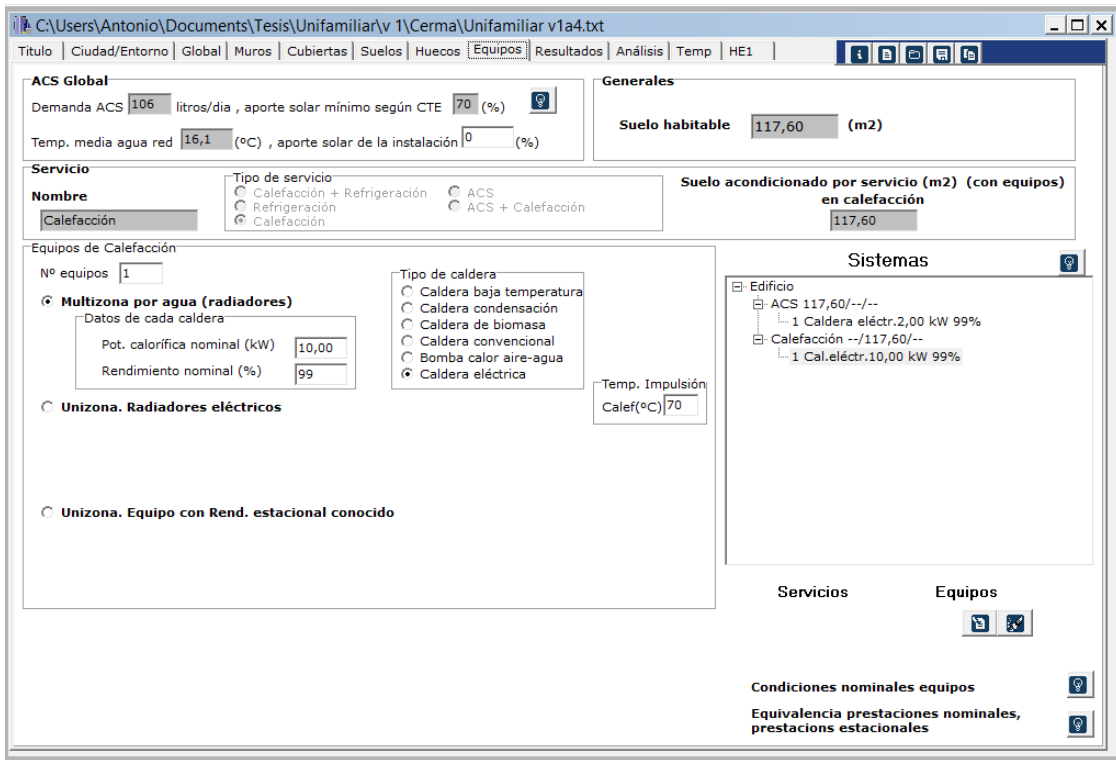


Figura V.6.- Introducción de sistema del caso 2A en CERMA.

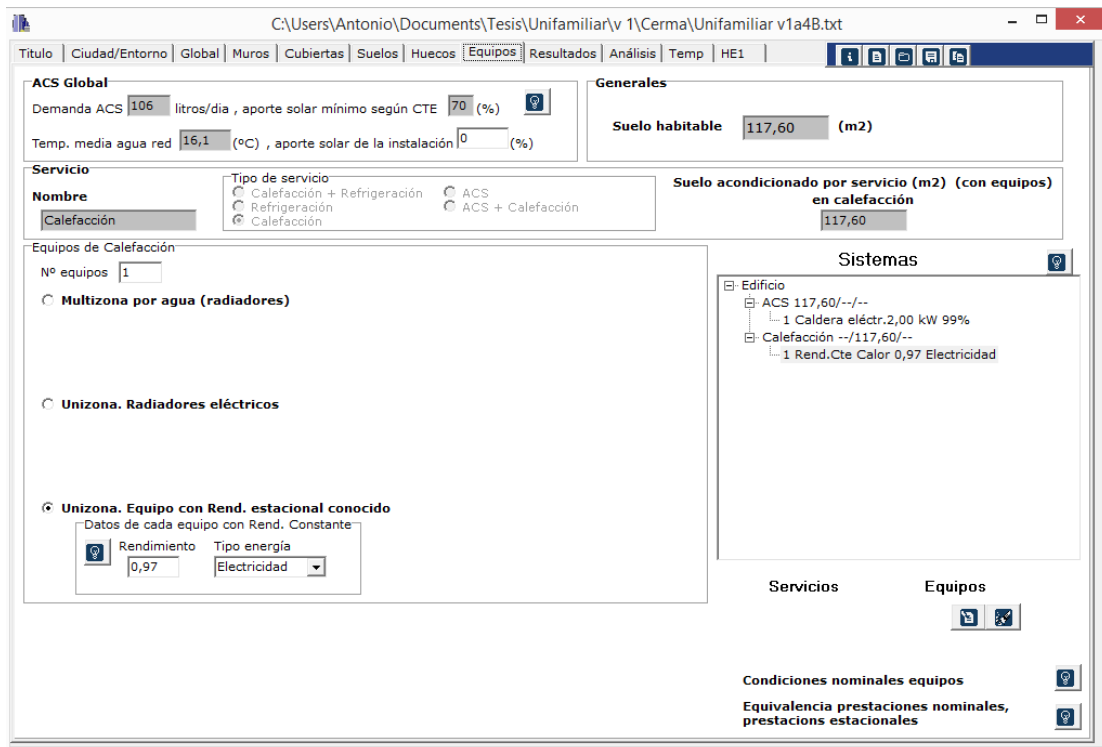


Figura V.7.- Introducción de sistema del caso 2B en CERMA.

Resultados

Tabla V.8.- Indicadores obtenidos en el caso 2.

	Demanda (kWh/m <sup>2</sup> )					Consumo (kWh/m <sup>2</sup> )					Emisiones de CO <sub>2</sub> (kg/m <sup>2</sup> )				
	Calefacción	Refrigeración	ACS	TOTAL	Diferencia (%)	Calefacción	Refrigeración	ACS	TOTAL	Diferencia (%)	Calefacción	Refrigeración	ACS	TOTAL	Diferencia (%)
CYPE / E+	32,04	40,07	14,60	86,71		33,03	16,45	16,59	66,27		12,29	7,45	6,17	25,91	
CERMA - 2A	59,70	30,60	20,30	110,60	28%						39,80	11,70	13,30	64,80	150%
CERMA - 2B	59,70	30,60	20,30	110,60	28%						39,90	11,70	13,30	65,00	151%
CE3	60,81	44,28	16,75	121,84	41%	62,69	18,37	16,92	97,98	41%	40,68	11,92	10,98	63,58	145%

Rendimiento medio estacional y factor de conversión

Tabla V.9.- Rendimiento medio estacional y factor de conversión obtenidos en el caso 2.

	Rendimiento			Factor de conversión (kg CO <sub>2</sub> /kWh E. final)		
	Calefacción	Refrigeración	ACS	Calefacción	Refrigeración	ACS
CYPE / E+	1,00	2,00	0,88	0,37	0,37	0,37
CERMA - 2A	0,96	1,70	0,99	0,65	0,76	0,58
CERMA - 2B	0,97	1,70	0,99	0,65	0,76	0,58
CE3	0,97	2,41	0,99	0,65	0,65	0,65

Análisis de resultados del caso*Demanda de energía*

Al disminuir la transmitancia del suelo en contacto con el terreno respecto del caso 1 y reducirse la demanda punta por la inercia térmica del sistema, se produce un aumento de la demanda de refrigeración y una disminución de la demanda de calefacción. Sin embargo, este efecto se da de una forma más acuciada en los datos obtenidos en EnergyPlus que en CERMA o CE3. De hecho, la demanda de refrigeración posee en este caso una mayor similitud en CE3 respecto de EnergyPlus que en CERMA, como ocurría en el caso anterior.

La demanda global aumenta en EnergyPlus, mientras que disminuye en CERMA y CE3, aunque las diferencias en % hayan disminuido.

Como era de esperar, dado que no han cambiado las condiciones que afectan a la envolvente térmica del edificio ni a las cargas a compensar, la demanda no cambia en lo que respecta a la comparación entre los casos 2A y 2B en CERMA.

#### *Consumo de energía*

En CE3 nuestro sistema como sistema de rendimiento medio estacional conocido, por lo que los consumos se obtienen dividiendo la demanda por dicho rendimiento. Así pues, la diferencia en el consumo se verá aumentada o disminuida respecto de la calculada en demanda dependiendo del uso de un rendimiento menor o mayor.

#### *Emisiones de CO<sub>2</sub>*

La diferencia entre los casos 2A y 2B es muy pequeña.

El análisis es similar al realizado en el caso 1, dada las pequeñas diferencias con los valores obtenidos en EnergyPlus, CERMA y CE3 en el caso 1B respecto del caso 2.

#### *Rendimiento medio estacional*

En este caso la variación de los valores de rendimiento medio estacional no es significativa salvo por la situación comentada previamente de no usar los rendimientos dados por el CTE [4] en ausencia de sistema de refrigeración.

#### *Factor de conversión*

El análisis es idéntico al del caso anterior, ya que existen valores diferentes siendo el tipo de energía la misma: electricidad. Además, el valor predominante en CE3 y CERMA (al igual que en el caso 1 es 0,65) no se corresponde con el valor de los factores de conversión publicados por IDAE en Marzo de 2.014. [5]

### **Caso 3: Bomba de calor y distribución de agua a fancoils**

#### Definición de sistema en CYPE

Se diseña el sistema con generación con bomba de calor (BC) aire-agua no reversible que abastece un circuito de agua, que a su vez alimenta fancoils.

La bomba de calor (BC) es no reversible, aire-agua, potencia calorífica nominal de 8 kW, COP = 3,3, límites operativos en modo calefacción: entrada de aire entre -20°C y 40°C, salida de agua entre 15°C y 60°C, carcasa de acero galvanizado y esmaltado al horno, dimensiones 1182x784x1116 mm. Se encuentra ubicada en el exterior del edificio junto a la parte del cerramiento en contacto con la sala de caldera.

Los fancoils son de los siguientes tipos:

- Fancoil horizontal, modelo KCN-50 "CIAT", potencia calorífica nominal de 16,2 kW. Posee como entrada el circuito de agua calefactada proveniente de la bomba de calor (BC). Aportará aire y compensará la carga térmica y la demanda de recibidor, salón y cocina.
- Fancoil mural, potencia calorífica nominal de 4,65 kW. Habrá una unidad en cada uno de los espacios restantes, esto es, baño principal, baño niños, aseo, distribuidor, dormitorio principal y dormitorio niños.

Introducción de sistema en CERMA y CE3

Tanto la introducción del sistema en CERMA como en CE3 se ha realizado mediante sistema de rendimiento medio estacional conocido.

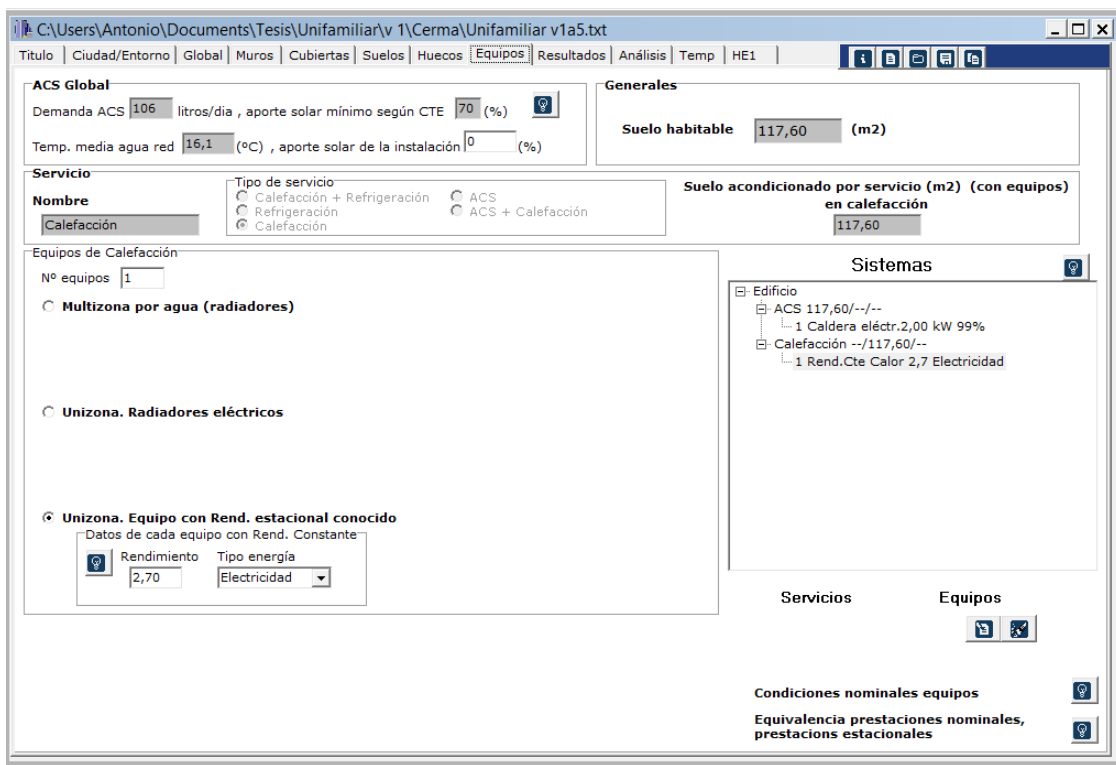


Figura V.8.- Introducción de sistema del caso 3 en CERMA.

Figura V.9.- Introducción de sistema del caso 3 en CE3.

**Resultados**

Tabla V.10.- Indicadores obtenidos en el caso 3.

	Demanda (kWh/m <sup>2</sup> )					Consumo (kWh/m <sup>2</sup> )					Emisiones de CO <sub>2</sub> (kg/m <sup>2</sup> )				
	Calefacción	Refrigeración	ACS	TOTAL	Diferencia (%)	Calefacción	Refrigeración	ACS	TOTAL	Diferencia (%)	Calefacción	Refrigeración	ACS	TOTAL	Diferencia (%)
CYPE / E+	33,23	32,89	14,60	80,72		12,31	16,45	16,59	45,34		4,58	6,12	6,17	16,87	
CERMA	60,30	30,40	20,30	111,00	38%						14,90	9,00	13,30	37,20	131%
CE3	64,26	43,36	16,75	124,37	54%	23,80	17,99	16,92	58,71	29%	15,45	11,68	10,98	38,11	126%

**Rendimiento medio estacional y factor de conversión**

Tabla V.11.- Rendimiento medio estacional y factor de conversión obtenidos en el caso 3.

	Rendimiento			Factor de conversión (kg CO <sub>2</sub> /kWh E. final)		
	Calefacción	Refrigeración	ACS	Calefacción	Refrigeración	ACS
CYPE / E+	2,70	2,00	0,88	0,37	0,37	0,37
CERMA	2,70	1,70	0,99	0,67	0,68	0,58
CE3	2,70	2,41	0,99	0,65	0,65	0,65

### Análisis de resultados del caso

#### *Demanda de energía*

Los materiales y composición de cerramientos de la envolvente, así como las cargas a compensar, son idénticos a los del caso 1. Debido a esto, los valores obtenidos son los mismos que en dicho caso, y por tanto el análisis de demanda realizado es trasladable a este caso.

#### *Consumo de energía*

Dado que en todos los procedimientos hemos realizado la introducción mediante sistemas de rendimiento medio estacional conocido, los consumos se obtendrán mediante la división de dichas demandas por dichos rendimientos.

Por tanto, la variación del análisis de consumo respecto del análisis de demanda viene dada por el uso de rendimientos medios estacionales distintos, si fuera el caso. El valor usado de rendimientos se analiza posteriormente.

#### *Emisiones de CO<sub>2</sub>*

El valor porcentual en todos los datos obtenidos para los distintos sistemas es mayor del obtenido con EnergyPlus.

Se producen valores y diferencias en ellos similares con ambos procedimientos simplificados, mayormente debido a la calefacción.

#### *Rendimiento medio estacional*

El rendimiento medio estacional del sistema de calefacción es idéntico en todos los programas dado que ha sido impuesto.

En refrigeración, dado que no existe sistema de este tipo, debería utilizarse un rendimiento de valor 2. En CERMA se usa un valor de 1,7, mientras que en CE3 de 2,41.

#### *Factor de conversión*

El análisis es idéntico al realizado para los anteriores casos, ya que sigue habiendo valores distintos entre sí cercanos a 0,65, muy diferente al usado en nuestro método de referencia (0,37).

### **V.2.2. Sistemas de refrigeración**

Se procederá a refrigerar todos los espacios del edificio salvo la sala de caldera.

#### **Caso 4: Sistema multisplit**

##### Definición de sistema en CYPE

Si bien el sistema multisplit puede aportar tanto calor como frío, se incluye en este apartado dado que se planteo inicialmente como un sistema de frío solamente. Esto es, se procede a la refrigeración y, dado que los splits no existen como splits de sólo frío en CYPE, utilizamos dicho sistema también para aportar calor.

La distribución de splits se hace de 2 formas:

- Split 1x1: Equipo de aire acondicionado, sistema aire-aire split 1x1, con distribución por conducto rectangular, modelo FDUM 71 VFNX "MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES", para gas R-410A, potencia frigorífica nominal 7,1, potencia calorífica nominal 8 kW. Alimenta a un split conducido ubicado en el recibidor que aporta aire climatizado a recibidor, salón y cocina.
- Unidad exterior de aire acondicionado que abastece a sistema multisplit: Unidad exterior de aire acondicionado, sistema aire-aire multisplit, para gas R-410A, potencia frigorífica nominal 8 kW, potencia calorífica nominal 9,3 kW. Alimentará a los splits murales de interior que se detallan a continuación:
  - Unidad interior de aire acondicionado de pared aire-aire multisplit, modelo SRK 20 ZJ "MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES", para gas R-410A, potencia frigorífica nominal 2 kW, potencia calorífica nominal 3 kW. Este tipo de unidad estará ubicada en dormitorio niños, baño principal, baño niños, aseo y distribuidor.
  - Unidad interior de aire acondicionado, de pared, sistema aire-aire multisplit), modelo SRK 25 ZJ "MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES", para gas R-410A, potencia frigorífica nominal 2,5 kW, potencia calorífica nominal 3,4 kW. Split mural ubicado en el dormitorio principal.

##### Introducción de sistema en CERMA y CE3

La introducción del sistema en CERMA se hace mediante equipos, de expansión directa y de distribución por conductos, asociados a cada espacio, definidos estos con la superficie que ocupan.

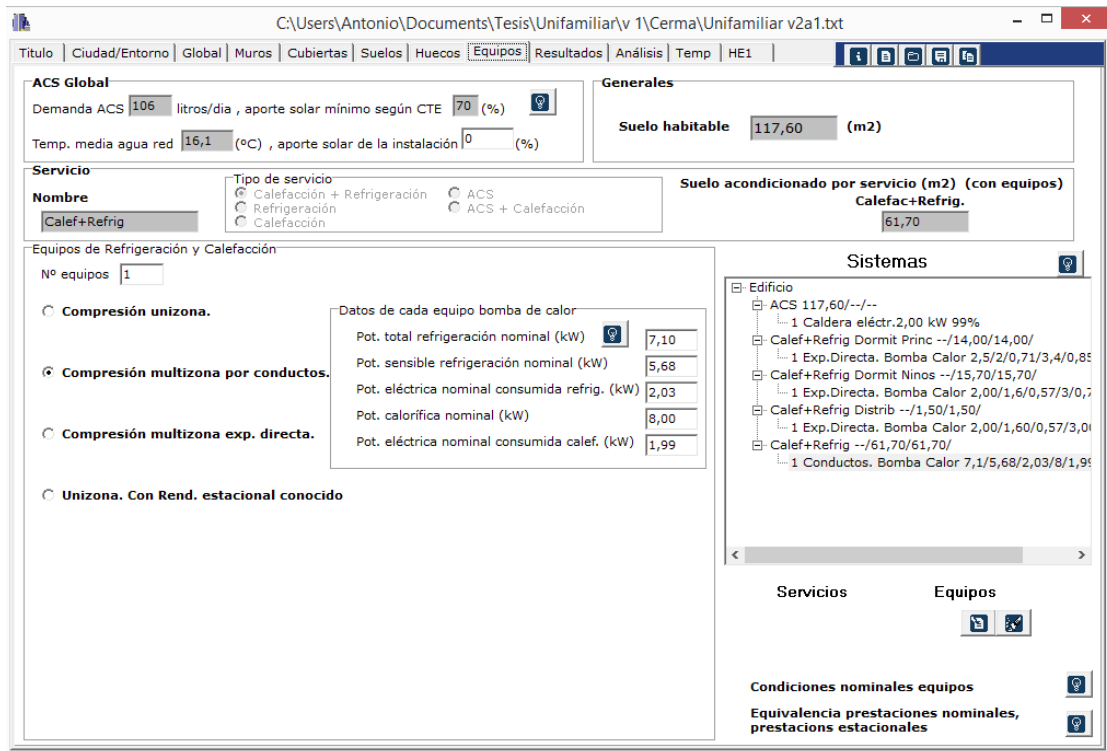


Figura V.10.- Introducción de sistema del caso 4 en CERMA.

Por otra parte, la introducción en CE3 se lleva mediante sistemas multisplit.

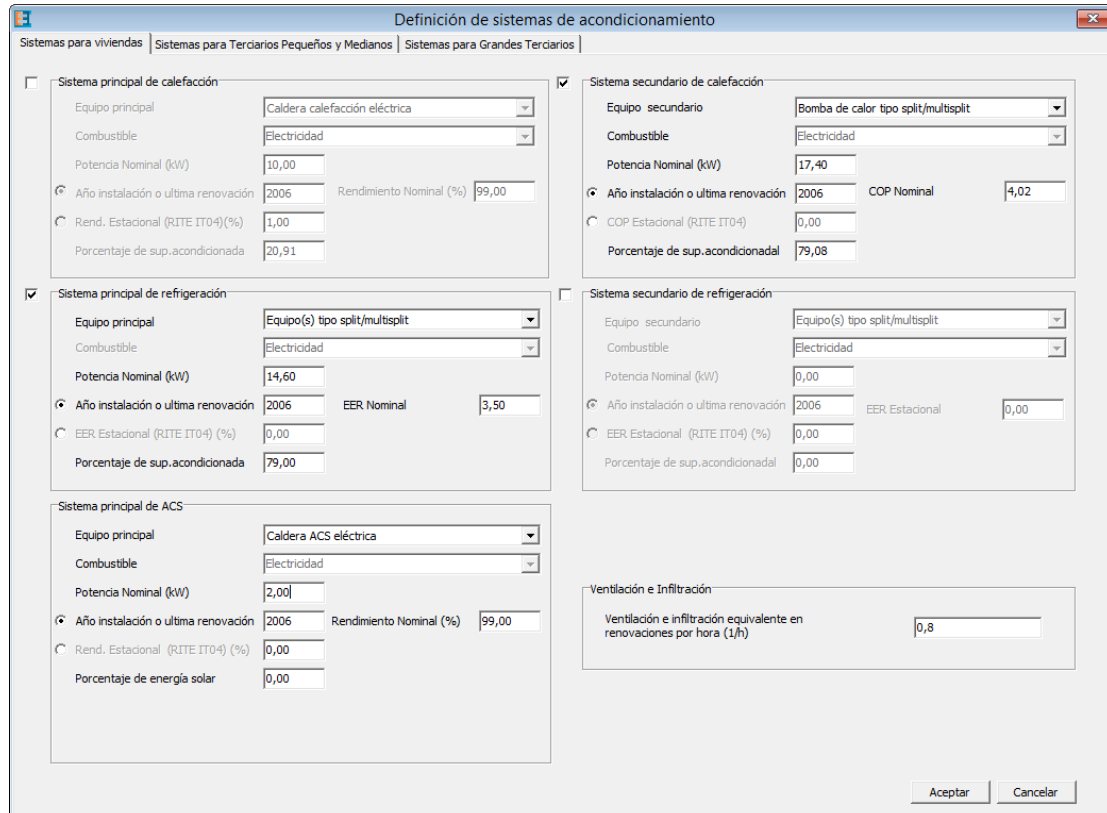


Figura V.11.- Introducción de sistema del caso 4 en CE3.



**Resultados**

Tabla V.12.- Indicadores obtenidos en el caso 4.

	Demanda (kWh/m <sup>2</sup> )					Consumo (kWh/m <sup>2</sup> )					Emisiones de CO <sub>2</sub> (kg/m <sup>2</sup> )				
	Calefacción	Refrigeración	ACS	TOTAL	Diferencia (%)	Calefacción	Refrigeración	ACS	TOTAL	Diferencia (%)	Calefacción	Refrigeración	ACS	TOTAL	Diferencia (%)
CYPE / E+	33,23	32,89	14,60	80,72		12,31	14,30	16,59	43,20		4,58	5,32	6,17	16,07	
CERMA	60,30	30,40	20,30	111,00	38%						14,90	9,00	13,30	37,20	131%
CE3	64,26	43,36	16,75	124,37	54%	40,29	18,40	16,92	75,61	75%	19,66	11,94	10,98	42,58	165%

**Rendimiento medio estacional y factor de conversión**

Tabla V.13.- Rendimiento medio estacional y factor de conversión obtenidos en el caso 4.

	Rendimiento			Factor de conversión (kg CO <sub>2</sub> /kWh E. final)		
	Calefacción	Refrigeración	ACS	Calefacción	Refrigeración	ACS
CYPE / E+	2,70	2,30	0,88	0,37	0,37	0,37
CERMA	3,00	2,40	0,99	0,67	0,68	0,58
CE3	1,59	2,36	0,99	0,49	0,65	0,65

**Análisis de resultados del caso**

*Demanda de energía*

La envolvente y cargas a compensar no han variado respecto de las del caso 1. Por tanto, las demandas obtenidas son iguales a las de dicho caso y su análisis análogo.

*Consumo de energía*

El consumo en CE3 posee un valor que difiere del valor obtenido en el método de referencia en un 75 %. Esta diferencia es debida principalmente al consumo en calefacción, mucho mayor en CE3 que en EnergyPlus.

*Emisiones de CO<sub>2</sub>*

Los valores de emisiones son muy superiores en CERMA y CE3 que en EnergyPlus, dando diferencias del 131 % y 165 % respectivamente, principalmente debido al incremento del valor en calefacción.

#### *Rendimiento medio estacional*

En el caso estudiado, no hemos introducido rendimientos medios estacionales conocidos. Así pues, los rendimientos han sido calculados por cada procedimiento simplificado con los sistemas introducidos.

El rendimiento en calefacción posee cierta similitud entre nuestro método de referencia y CERMA, en los cuales difiere un 10 %. En CE3, sin embargo, se utiliza un valor bastante diferente, (2,7 en EnergyPlus frente a 1,59 en CE3), produciéndose de esta forma una multiplicación de la diferencia en los consumos respecto de la que se ha calculado en las demandas.

En refrigeración son similares los rendimientos de todos los métodos.

#### *Factor de conversión*

El análisis del factor de conversión es similar al hecho en los casos anteriores.

Cabe mencionar el valor de dicho factor para calefacción en CE3 (0,49), ya que si bien como ya se ha comentado hay diferencia entre los distintos valores, suelen estar próximos a 0,65. No se ha encontrado explicación a este valor dispar.

### **Caso 5: Máquina frigorífica aire-agua y distribución a fancoils**

#### Definición de sistema en CYPE

El sistema de generación está compuesto por una máquina frigorífica aire-agua no reversible para refrigeración, que abastece un circuito de agua, que a su vez alimenta fancoils. Modelo Ecolean EAC 0151SKHN "LENNOX", potencia frigorífica nominal de 13,3 kW.

Esta máquina frigorífica es distinta a la BC del caso 3 por 2 motivos:

- CYPE hace distinción para el diseño entre BC para calefacción (“unidad aire-agua bomba de calor no reversible”), máquina frigorífica (“unidad aire-agua de refrigeración”) o BC para climatización (“unidad aire-agua bomba de calor reversible”).
- Se ajusta la potencia necesaria para compensar la carga térmica en cada caso, centrando el diseño en el tipo de carga a compensar (calefacción, refrigeración o climatización), cambiando el modelo a tal efecto si es necesario.

Los fancoils son de los siguientes tipos:

- Fancoil horizontal, modelo RFHP 54 "YORK", potencia frigorífica nominal de 13,3 kW. Posee como entrada el circuito de agua refrigerada proveniente de la bomba de refrigeración. Aportará aire y compensará la carga térmica y la demanda del receptor, el salón y la cocina.
- Fancoil mural, potencia frigorífica nominal de 2,04 kW. Habrá una unidad en cada uno de los espacios restantes, esto es, baño principal, baño niños, aseo, distribuidor, dormitorio principal y dormitorio niños.

### Introducción de sistema en CERMA y CE3

Se introduce nuestro sistema como sistemas de rendimiento medio estacional conocido en ambos procedimientos simplificados, CERMA y CE3.

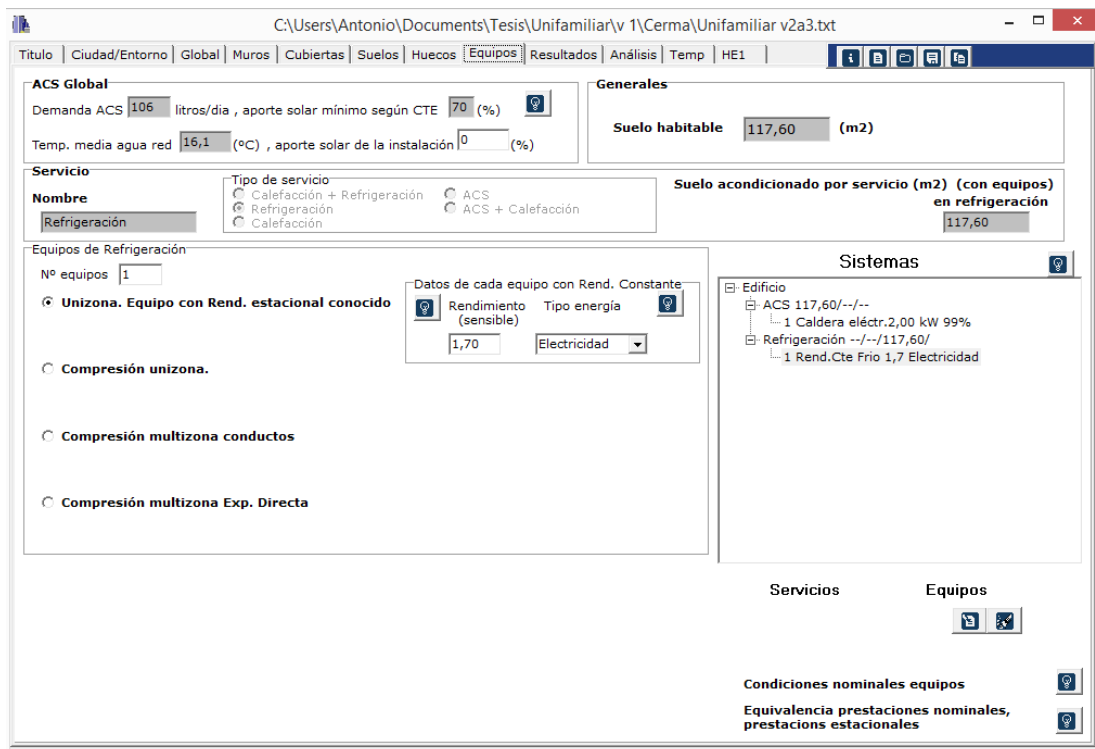


Figura V.12.- Introducción de sistema del caso 5 en CERMA.

Figura V.13.- Introducción de sistema del caso 5 en CE3.

**Resultados**

Tabla V.14.- Indicadores obtenidos en el caso 5.

	Demanda (kWh/m <sup>2</sup> )					Consumo (kWh/m <sup>2</sup> )					Emisiones de CO2 (kg/m <sup>2</sup> )				
	Calentación	Refrigeración	ACS	TOTAL	Diferencia (%)	Calentación	Refrigeración	ACS	TOTAL	Diferencia (%)	Calentación	Refrigeración	ACS	TOTAL	Diferencia (%)
CYPE / E+	33,23	32,89	14,60	80,72		36,12	19,35	16,59	72,06		9,10	7,20	6,17	22,47	
CERMA	60,30	30,40	20,30	111,00	38%						23,10	11,60	13,30	48,00	114%
CE3	64,26	43,36	16,75	124,37	54%	85,67	25,51	16,92	128,10	78%	24,59	16,55	10,98	52,12	132%

**Rendimiento medio estacional y factor de conversión**

Tabla V.15.- Rendimiento medio estacional y factor de conversión obtenidos en el caso 5.

	Rendimiento			Factor de conversión (kg CO2 /kWh E. final)		
	Calentación	Refrigeración	ACS	Calentación	Refrigeración	ACS
CYPE / E+	0,92	1,70	0,88	0,25	0,37	0,37
CERMA	0,75	1,70	0,99	0,35	0,65	0,58
CE3	0,75	1,70	0,99	0,29	0,65	0,65

### Análisis de resultados del caso

#### *Demanda de energía*

Como en casos anteriores, la demanda y su análisis son idénticos a los del caso 1.

#### *Consumo de energía*

Los consumos en refrigeración son proporcionales a las demandas y su análisis análogo, dado que los rendimientos medios estacionales están impuestos en el método de referencia y procedimientos simplificados para este caso.

En calefacción, el aumento o disminución de la diferencia respecto del método de referencia, depende del distinto rendimiento medio estacional que haya sido utilizado en ausencia de dicho sistema. Esto se analizará posteriormente.

#### *Emisiones de CO<sub>2</sub>*

Al igual que en los casos anteriores, las emisiones son elevadas, con diferencias superiores al 100 %, principalmente originadas en la diferencia en las emisiones en calefacción.

#### *Rendimiento medio estacional*

Los rendimientos medios estacionales son idénticos en refrigeración ya que han sido impuestos en el método de referencia, CERMA y CE3.

En ausencia de sistema de calefacción, según el apartado 4.3. del documento DB HE0 del CTE [4], el tipo de energía utilizado debe ser gas natural con un rendimiento medio estacional de 0,92. Este valor, usado en el método de referencia, no es tomado por los procedimientos simplificados que, sin embargo, coinciden en tomar un valor de 0,75<sup>4</sup>.

#### *Factor de conversión*

En el caso de ausencia de sistema de calefacción, según se menciona en el CTE [4], el sistema energético será de gas natural y su rendimiento de 0,92.

Esto hace que el factor de conversión cambie en el método de referencia (0,25) respecto del valor usado hasta ahora en todos los casos anteriores.

<sup>4</sup> En el caso de no existir algún sistema, CALENER, método general del que derivan CE3 y CERMA, supone que el sistema es una caldera estándar de gasóleo con un rendimiento estacional de 0,75 en calefacción y un sistema autónomo (split) con un rendimiento estacional de 1,70 en refrigeración.

Análogamente, cambia también en los procedimientos simplificados (0,35 en CERMA y 0,29 en CE3), en los cuales se toma un valor con mayor similitud que en el caso de energía eléctrica. Si bien hay que tener en cuenta que, dado que son procedimientos simplificados respecto de CALENER, y este utiliza como energía gasóleo-c, el factor de conversión que CERMA y CE3 está utilizando debe corresponder a dicho tipo de combustible.

### Caso 6: Suelo refrescante

#### Definición de sistema en CYPE

El sistema de suelo refrescante será abastecido por una unidad de aire – agua de refrigeración ECOLEAN EAC 0151SK de potencia nominal frigorífica de 13,3 kW, con grupo hidráulico y depósito de inercia.

El colector modular es de plástico de 1" de diámetro, "SAUNIER DUVAL" y tubos de polietileno reticulado (PE-X) de 16 mm. La marca de colector se modifica respecto del caso 2 con suelo radiante, con objeto de comprobar distintos sistemas en CYPE.

Se observa que, optimizando el diseño, el suelo refrescante no es capaz de compensar la carga térmica ninguno de los espacios del edificio. Por tanto, no se consiguen condiciones de confort, pero mejoran dichas condiciones respecto si no hubiera suelo refrescante.

Tabla V.16.- Potencias instaladas ( $P_{inst}$  refrigeración) y requeridas ( $P_{req}$  refrigeración) calculadas.

Armario de colectores	Circuito	Recinto	$P_{inst}$ refrigeración (kcal/h)	$P_{req}$ refrigeración (Kcal/h)
CC 1	C 1	Baño niños	239.4	291.7
	C 2	Baño principal	207.5	307.8
	C 3	Dormitorio niños	294.6	426.7
	C 4	Dormitorio principal	317.0	386.4
	C 5	Cocina	360.4	439.2
	C 6	Salón	377.1	459.6
	C 7	Distribuidor	36.0	39.7
	C 8	Recibidor	82.7	122.8
	C 9	Aseo	50.0	55.2
	C 10	Recibidor	81.3	89.7
	C 11	Salón	291.6	432.6
	C 12	Salón	118.4	175.7

Para poder sacar conclusiones, supondremos que lo es, despreciando la carga no compensable. A tal efecto se procederá con este caso como lo hacen los métodos simplificados, suponiendo que el sistema es capaz y simplemente anotando un error en el espacio y sistema oportuno (según se describe en el manual de fundamentos técnicos de CE3) [3].

**Introducción de sistema en CERMA y CE3**

Dada que no existe en CE3 y CERMA ninguna opción para simular suelos refrescantes, introducimos dicho sistema como sistemas de rendimiento medio estacional conocido.

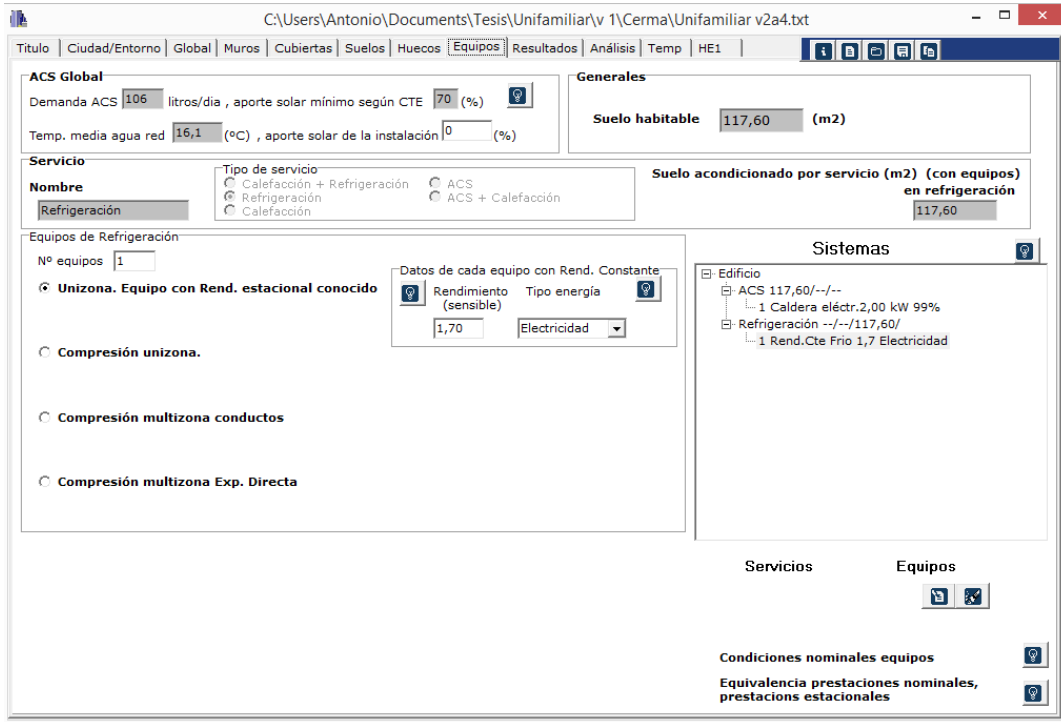


Figura V.14.- Introducción de sistema del caso 6 en CERMA.

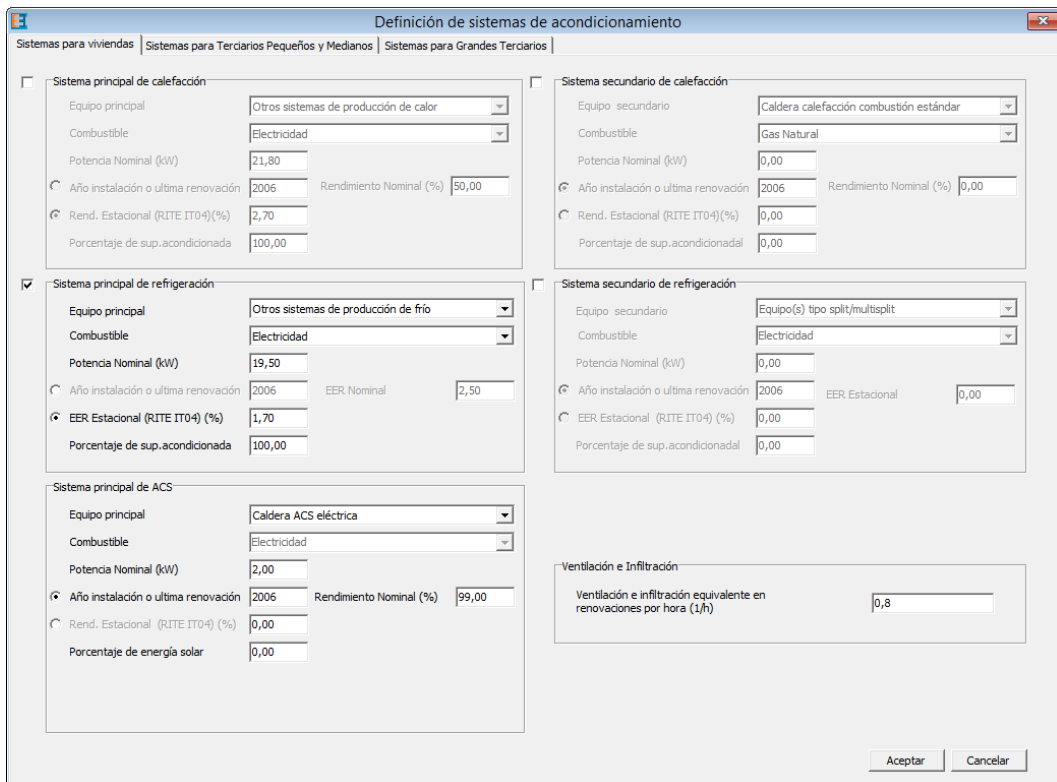


Figura V.15.- Introducción de sistema del caso 6 en CE3.

**Resultados**

Tabla V.17.- Indicadores obtenidos en el caso 6.

	Demanda (kWh/m <sup>2</sup> )					Consumo (kWh/m <sup>2</sup> )					Emisiones de CO2 (kg/m <sup>2</sup> )				
	Calefacción	Refrigeración	ACS	TOTAL	Diferencia (%)	Calefacción	Refrigeración	ACS	TOTAL	Diferencia (%)	Calefacción	Refrigeración	ACS	TOTAL	Diferencia (%)
CYPE / E+	31,24	43,72	14,60	89,56		33,96	25,72	16,59	76,27		8,56	9,57	6,17	24,30	
CERMA	59,10	30,80	20,30	110,20	23%						22,60	11,70	13,30	47,70	96%
CE3	60,21	43,67	16,75	120,63	35%	80,28	25,69	16,92	122,89	61%	23,04	16,67	10,98	50,69	109%

**Rendimiento medio estacional y factor de conversión**

Tabla V.18.- Rendimiento medio estacional y factor de conversión obtenidos en el caso 6.

	Rendimiento			Factor de conversión (kg CO2 /kWh E. final)		
	Calefacción	Refrigeración	ACS	Calefacción	Refrigeración	ACS
CYPE / E+	0,92	1,70	0,88	0,25	0,37	0,37
CERMA	0,75	1,70	0,99	0,35	0,65	0,58
CE3	0,75	1,70	0,99	0,29	0,65	0,65

**Análisis de resultados del caso**

*Demanda de energía*

Debido a que tenemos suelo refrescante, y por tanto una composición distinta del suelo con contacto con el terreno, como se especificó en el capítulo III, la transmitancia cambia y la demanda también. Además, el sistema tendrá inercia térmica.

Dado que la transmitancia disminuye, siendo la menor de los 3 tipos de cerramientos de suelo (casos normales, suelo radiante y el tercero en suelo refrescante y suelo radiante y refrescante), se obtienen para el unifamiliar los valores de demanda de calefacción menores y los mayores de demanda de refrigeración. La demanda global, en su conjunto, será también la de mayor valor de los casos estudiados en unifamiliar, dado que el aumento de la demanda de refrigeración es mayor que la disminución de la demanda de calefacción.

Sin embargo, los incrementos y disminuciones de valores son pequeños en nuestro método de referencia y menores aún en CERMA y CE3, provocando que al aumentar la demanda global en EnergyPlus en mayor cuantía que en los procedimientos simplificados, se reduzcan los porcentajes de diferencia entre ambos.



### *Consumo de energía*

Hemos introducido el sistema con rendimiento medio estacional conocido. Por tanto, el análisis del consumo en refrigeración es idéntico al de la demanda de refrigeración al obtenerse de ésta mediante división por dicho rendimiento.

El consumo de calefacción puede verse alterado en cuanto a su análisis, al estar multiplicada la demanda por un rendimiento que, en ausencia de sistema de calefacción, puede ser distinto en cada procedimiento. Esto se analizará en el apartado de rendimientos.

### *Emisiones de CO<sub>2</sub>*

Las diferencias obtenidas en emisiones están en el entorno del 100 % para ambos procedimientos simplificados. Son los valores menores obtenidos hasta ahora, tanto en emisiones globales como en el porcentaje de diferencia con los obtenidos en el método de referencia.

### *Rendimiento medio estacional*

Los rendimientos medios estacionales en refrigeración han sido fijados en el método de referencia, CERMA y CE3, debido a lo cual son idénticos.

Al igual que en el caso 5, ambos procedimientos usan un valor de 0,75 en ausencia de calefacción. En dicho punto, se explicó porque CERMA y CE3 usan dichos valores.

### *Factor de conversión*

El análisis del factor de conversión es idéntico al del caso anterior, concluyéndose que se está usando un factor para electricidad cercano a 0,65 y una energía en ausencia de sistema de calefacción con gasóleo - C y factor del orden de 0,30. Esto difiere de los valores recogidos en la guía que hemos tomado de referencia publicada en Marzo de 2.014 [1].

## **V.2.3. Sistemas de climatización: calefacción y refrigeración**

### **Caso 7: Radiadores y sistema multisplit.**

#### Definición de sistema en CYPE

Este tipo de sistemas no se instalan de forma conjunta en la práctica. Como ya se comentó en el apartado III.3.1., los sistemas estudiados no tienen que ser sistemas que se utilicen habitualmente.

Se procede a diseñar una calefacción de aseos y baños mediante radiadores y una climatización del resto de espacios habitables mediante splits.

#### *Instalación de radiadores*

Los emisores serán alimentados por un circuito de agua calentada en una caldera eléctrica mural de 10 kW.

Al estar ubicados en los baños y el aseo, los emisores son toalleros.

Tabla V.19.- Listado de emisores del caso 7.

Recintos	Tipo de emisor	Tipo	Pérdidas caloríficas (W)	Longitud (mm)	Potencia (W)
Aseo	Toallero	1	373	500	623
Baño niños	Toallero	1	789	500	623
	Toallero	1	789	500	623
Baño principal	Toallero	1	563	500	623

Toallero tipo:

1: Radiador toallero tubular de chapa de acero acabado blanco, para cuartos de baño, serie Isis "NOKEN", de 500x1133 mm y emisión calorífica 549 kcal/h para una diferencia media de temperatura de 50°C entre el radiador y el ambiente.

#### *Sistema multisplit*

La distribución de splits se hace de 2 formas:

- Split 1x1: Equipo de aire acondicionado, sistema aire-aire split 1x1, con distribución por conducto rectangular, para gas R-410A, modelo FDUM 71 VFNX "MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES", potencia frigorífica nominal 7,1 kW, potencia calorífica nominal 8 kW. Alimenta a un Split conducido ubicado en el recibidor que aporta aire climatizado a recibidor, salón y cocina.
- Unidad exterior de aire acondicionado que abastece a sistema multisplit: Unidad exterior de aire acondicionado, sistema aire-aire multisplit, para gas R-410A, modelo SCM 80 ZJ "MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES", potencia frigorífica nominal 8 kW, potencia calorífica nominal 9,3 kW. Alimentará a los splits murales de interior que se detallan a continuación:

- Unidad interior de aire acondicionado, de pared, sistema aire-aire multisplit, modelo SRK 20 ZJ "MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES", para gas R-410A, potencia frigorífica nominal 2 kW, potencia calorífica nominal 3 kW. Este tipo de unidad estará ubicada en dormitorio niños y distribuidor
- Unidad interior de aire acondicionado, de pared, sistema aire-aire multisplit, modelo SRK 25 ZJ "MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES", para gas R-410A, potencia frigorífica nominal 2,5 kW, potencia calorífica nominal 3,4 kW. Split mural ubicado en el dormitorio principal.

El sistema multisplit diseñado es idéntico al diseñado en el caso 4, con la salvedad de que en aquel caso la unidad exterior alimenta a 6 unidades de interior, y en el caso 7 alimenta sólo a 3. Debido a ello, dicha unidad exterior es distinta en modelo y características.

#### *Rendimiento del sistema mixto*

Para poder calcular mediante el método de referencia consumos y emisiones, debemos tener un valor de rendimiento medio estacional que aplicar a las demandas.

Dado que poseemos 2 tipos de sistemas en calefacción (la refrigeración se realiza sólo mediante multisplit), las demandas totales de cada sistema será la suma de la demanda de cada espacio.

Tabla V.20.- Cálculo del rendimiento medio estacional del método de referencia en el caso 7.

Demanda sistema radiadores (kWh)	3.385,82
Rendimiento sistema radiadores	1,00
Demanda sistema splits (kWh)	3.399,78
Rendimiento sistema splits	2,70
Demanda total (kWh/m <sup>2</sup> )	57,66
Consumo total (kWh)	4.645,98
Consumo total (kWh/m <sup>2</sup> )	39,50
Rendimiento global	1,46

#### Introducción de sistema en CERMA y CE3

La introducción de los sistemas en CERMA y CE3 se ha realizado mediante sistemas existentes en dicho programa de radiadores y splits.

Se asigna a cada espacio, definido por su superficie, cada equipo de forma individual en CERMA. En CE3 sólo permite introducir un sistema multisplit y un % de superficie acondicionada,

**ACS Global**  
 Demanda ACS 106 litros/día , aporte solar mínimo según CTE 70 (%)  
 Temp. media agua red 16,1 (°C) , aporte solar de la instalación 0 (%)

**Generales**  
 Suelo habitable 117,60 (m2)

**Servicio**  
 Nombre Calef+Refrig  
 Tipo de servicio:  Calefacción + Refrigeración,  Refrigeración,  Calefacción,  ACS,  ACS + Calefacción

**Equipos de Refrigeración y Calefacción**  
 N° equipos 1  
 Compresión unizona.  
 Compresión multizona por conductos.  
 Compresión multizona exp. directa.  
 Unizona. Con Rend. estacional conocido

**Datos de cada equipo bomba de calor**  
 Pot. total refrigeración nominal (kW) 7,10  
 Pot. sensible refrigeración nominal (kW) 5,68  
 Pot. eléctrica nominal consumida refrig. (kW) 2,03  
 Pot. calorífica nominal (kW) 8,00  
 Pot. eléctrica nominal consumida calef. (kW) 1,99

**Sistemas**  
 Edificio  
 - Calefacción --/24,70/--  
   - 1 Cal.eléctr.10,00 kW 99%  
 - ACS 117,60/--/--  
   - 1 Caldera eléct.2,00 kW 99%  
 - Calef+Refrig Dormit Princ --/14,00/14,00/  
   - 1 Exp.Directa. Bomba Calor 2,5/2/0,71/3,4/0,85  
 - Calef+Refrig Dormit Ninos --/15,70/15,70/  
   - 1 Exp.Directa. Bomba Calor 2,00/1,6/0,57/3/0,7  
 - Calef+Refrig Distrib --/1,50/1,50/  
   - 1 Exp.Directa. Bomba Calor 2,00/1,60/0,57/3,0  
 - Calef+Refrig --/61,70/61,70/  
   - 1 Conductos. Bomba Calor 7,1/5,68/2,03/8/1,99

**Condiciones nominales equipos**  
 Equivalencia prestaciones nominales, prestaciones estacionales

Figura V.16.- Introducción de sistema del caso 7 en CERMA.

**Definición de sistemas de acondicionamiento**

**Sistema principal de calefacción**  
 Equipo principal: Caldera calefacción eléctrica  
 Combustible: Electricidad  
 Potencia Nominal (kW): 10,00  
 Año instalación o última renovación: 2006 Rendimiento Nominal (%): 99,00  
 Rend. Estacional (RITE IT0-4) (%): 1,00  
 Porcentaje de sup.acondicionada: 20,91

**Sistema secundario de calefacción**  
 Equipo secundario: Bomba de calor tipo split/multisplit  
 Combustible: Electricidad  
 Potencia Nominal (kW): 17,40  
 Año instalación o última renovación: 2006 COP Nominal: 4,02  
 COP Estacional (RITE IT0-4): 0,00  
 Porcentaje de sup.acondicionada: 79,08

**Sistema principal de refrigeración**  
 Equipo principal: Equipo(s) tipo split/multisplit  
 Combustible: Electricidad  
 Potencia Nominal (kW): 14,60  
 Año instalación o última renovación: 2006 EER Nominal: 3,50  
 EER Estacional (RITE IT0-4) (%): 0,00  
 Porcentaje de sup.acondicionada: 79,00

**Sistema secundario de refrigeración**  
 Equipo secundario: Equipo(s) tipo split/multisplit  
 Combustible: Electricidad  
 Potencia Nominal (kW): 0,00  
 Año instalación o última renovación: 2006 EER Estacional: 0,00  
 EER Estacional (RITE IT0-4) (%): 0,00  
 Porcentaje de sup.acondicionada: 0,00

**Sistema principal de ACS**  
 Equipo principal: Caldera ACS eléctrica  
 Combustible: Electricidad  
 Potencia Nominal (kW): 2,00  
 Año instalación o última renovación: 2006 Rendimiento Nominal (%): 99,00  
 Rend. Estacional (RITE IT0-4) (%): 0,00  
 Porcentaje de energía solar: 0,00

**Ventilación e Infiltración**  
 Ventilación e infiltración equivalente en renovaciones por hora (1/h): 0,8

Botones: Aceptar, Cancelar

Figura V.17.- Introducción de sistema del caso 7 en CE3.

**Resultados**

Tabla V.21.- Indicadores obtenidos en el caso 7.

	Demanda (kWh/m <sup>2</sup> )					Consumo (kWh/m <sup>2</sup> )					Emisiones de CO <sub>2</sub> (kg/m <sup>2</sup> )				
	Calefacción	Refrigeración	ACS	TOTAL	Diferencia (%)	Calefacción	Refrigeración	ACS	TOTAL	Diferencia (%)	Calefacción	Refrigeración	ACS	TOTAL	Diferencia (%)
CYPE / E+	33,23	32,89	14,60	80,72		22,76	14,30	16,59	53,65		8,47	5,32	6,17	19,96	
CERMA	60,30	30,40	20,30	111,00	38%						18,80	9,00	13,30	41,20	106%
CE3	64,26	43,36	16,75	124,37	54%	46,38	18,40	16,92	81,70	52%	30,10	11,94	10,98	53,02	166%

**Rendimiento medio estacional y factor de conversión**

Tabla V.22.- Rendimiento medio estacional y factor de conversión obtenidos en el caso 7.

	Rendimiento			Factor de conversión (kg CO <sub>2</sub> /kWh E. final)		
	Calefacción	Refrigeración	ACS	Calefacción	Refrigeración	ACS
CYPE / E+	1,46	2,30	0,88	0,37	0,37	0,37
CERMA	2,08	2,40	0,99	0,46	0,68	0,58
CE3	1,39	2,36	0,99	0,65	0,65	0,65

**Análisis de resultados del caso**

*Demanda de energía*

La demanda, dado que no se han visto modificadas ni la envolvente ni las cargas a compensar, no cambia. Por tanto, el análisis es idéntico al del caso 1.

*Consumo de energía*

La proporción entre calefacción, refrigeración y ACS observadas en la demanda, así como el valor global, es similar a la existente en el consumo. Por tanto, cabe esperar rendimientos medios estacionales parecidos en CE3 y nuestro método de referencia.

*Emisiones de CO<sub>2</sub>*

Las emisiones de CO<sub>2</sub> obtenidas en CE3 y CERMA son muy distintas. En CERMA se obtiene un valor de un 106 % mayor que el de nuestro método de referencia, mientras que en CE3 es del 166 %.

Dado que, según hemos comentado en el apartado de consumo, se espera un rendimiento medio estacional similar en CE3 y nuestro método de referencia y que, siendo el tipo

de energía el mismo, no debe haber una gran variación en el factor de conversión, este valor de emisiones inferior en CERMA respecto de CE3 debe ser provocado por un rendimiento medio estacional mayor en calefacción que el usado en CE3 y nuestro método de referencia.

#### *Rendimiento medio estacional*

Se observa una gran similitud entre los rendimientos utilizados en todos los métodos, salvo el rendimiento medio estacional aplicado por CERMA al sistema de calefacción.

#### *Factor de conversión*

El análisis es idéntico al del caso 4, donde el sistema era multisplit y, por tanto, eléctrico.

No se encuentra explicación al valor usado por CERMA en calefacción.

### **Caso 8: Suelo radiante refrescante.**

#### Definición de sistema en CYPE

En este caso, como en el caso 2 de suelo radiante y el caso 6 de suelo refrescante, cambia la composición del suelo en contacto con el terreno, que coincide con la del suelo refrescante, según se detalla en el capítulo III.

Al coincidir con la composición del caso 6, la transmitancia pose idéntico valor, menor que en los demás casos estudiados hasta ahora. Además, también tendrá inercia térmica.

El sistema de suelo radiante y refrescante es alimentado por una bomba de calor reversible, aire-agua, modelo Ecolean EAR 0151SKHN "LENNOX", potencia frigorífica nominal de 13,3 kW, potencia calorífica nominal de 13,5 kW, con grupo hidráulico y depósito de inercia.

El colector modular es de plástico de 1" de diámetro, "SAUNIER DUVAL" y tubos de polietileno reticulado (PE-X) de 16 mm.

Optimizado el diseño, el suelo radiante refrescante no es capaz de compensar la carga térmica en ninguno de los espacios del edificio. Aún así, para poder obtener conclusiones, supondremos que lo es como en los casos 2 y 6.

Se ha diseñado el sistema en baños y aseo sólo con aporte de calor, sin refrigeración.

Tabla V.23.- Potencias instaladas ( $P_{inst}$ ) y requeridas ( $P_{req}$ ) calculadas.

Armario de colectores	Circuito	Recinto	$P_{inst}$ calefacción (kcal/h)	$P_{req}$ calefacción (Kcal/h)	$P_{inst}$ refrigeración (kcal/h)	$P_{req}$ refrigeración (Kcal/h)
CC 1	C 1	Baño niños	624.3	644.2		
	C 2	Baño principal	450.1	447.7		
	C 3	Dormitorio niños	692.2	687.6	358.7	426.7
	C 4	Dormitorio principal	787.8	969.9	317.0	386.4
	C 5	Cocina	895.5	927.7	360.4	439.2
	C 6	Salón	782.7	778.1	377.1	459.6
	C 7	Distribuidor	94.0	184.4	36.0	39.7
	C 8	Recibidor	250.3	253.4	100.7	122.8
	C 9	Aseo	130.5	256.3		
	C 10	Recibidor	212.2	416.5	81.3	89.7
	C 11	Salón	736.7	732.4	355.0	432.6
	C 12	Salón	299.2	297.5	144.2	175.7

Introducción de sistema en CERMA y CE3

En ambos procedimientos simplificados, dada la imposibilidad de definición de forma explícita de este sistema en ellos, se introducen como sistemas de rendimiento medio estacional conocido.

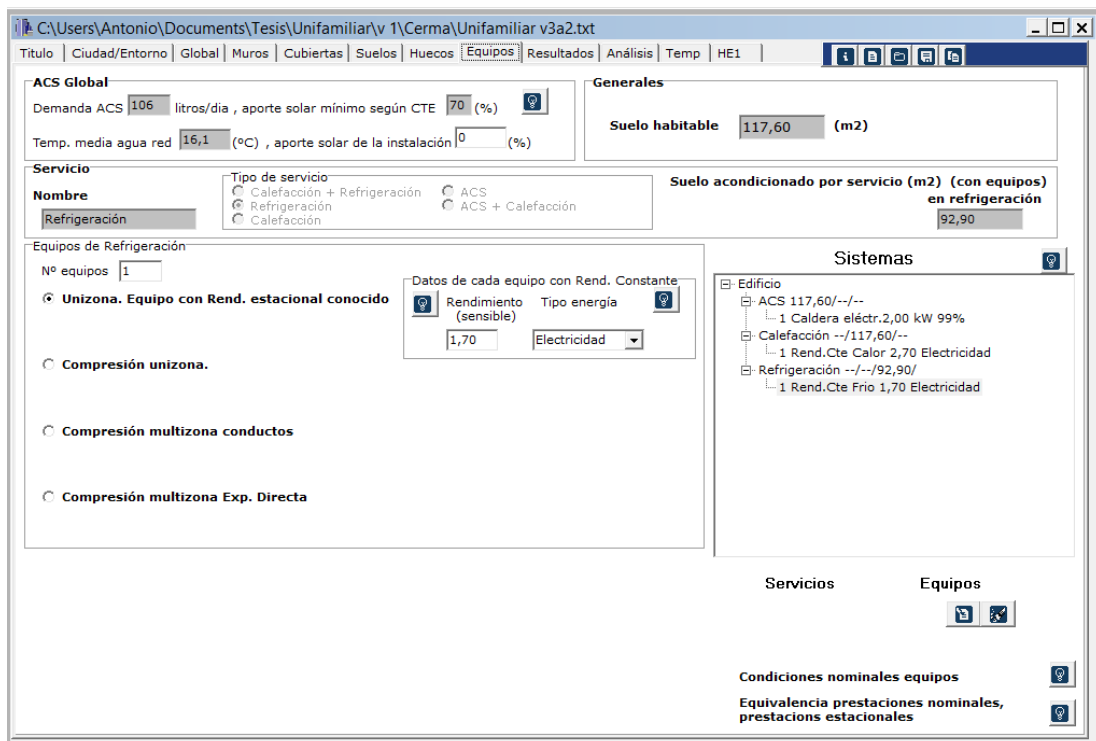


Figura V.18.- Introducción de sistema del caso 8 en CERMA.

The screenshot shows a software interface titled "Definición de sistemas de acondicionamiento". It has three tabs: "Sistemas para viviendas", "Sistemas para Tercios Pequeños y Medianos", and "Sistemas para Grandes Tercios". The interface is divided into several sections for defining different systems:

- Sistema principal de calefacción:** Checked. Equipment: "Otros sistemas de producción de calor". Fuel: "Electricidad". Nominal Power (kW): 13,15. Year of installation/last renovation: 2006. Nominal Efficiency (%): 50,00. Seasonal Efficiency (RITE IT0-4) (%): 2,70. Percentage of sup.acondicionada: 100,00.
- Sistema secundario de calefacción:** Not checked. Equipment: "Caldera calefacción combustión estándar". Fuel: "Gas Natural". Nominal Power (kW): 0,00. Year of installation/last renovation: 2006. Nominal Efficiency (%): 0,00. Seasonal Efficiency (RITE IT0-4) (%): 0,00. Percentage of sup.acondicionada: 0,00.
- Sistema principal de refrigeración:** Checked. Equipment: "Otros sistemas de producción de frío". Fuel: "Electricidad". Nominal Power (kW): 13,50. Year of installation/last renovation: 2006. Nominal EER: 2,50. Seasonal EER (RITE IT0-4) (%): 1,70. Percentage of sup.acondicionada: 100,00.
- Sistema secundario de refrigeración:** Not checked. Equipment: "Equipo(s) tipo split/multisplit". Fuel: "Electricidad". Nominal Power (kW): 0,00. Year of installation/last renovation: 2006. Seasonal EER: 0,00. Percentage of sup.acondicionada: 0,00.
- Sistema principal de ACS:** Not checked. Equipment: "Caldera ACS eléctrica". Fuel: "Electricidad". Nominal Power (kW): 2,00. Year of installation/last renovation: 2006. Nominal Efficiency (%): 99,00. Seasonal Efficiency (RITE IT0-4) (%): 0,00. Percentage of solar energy: 0,00.
- Ventilación e Infiltración:** Ventilation and infiltration equivalent in renewals per hour (1/h): 0,8.

Buttons for "Aceptar" and "Cancelar" are located at the bottom right.

Figura V.19.- Introducción de sistema del caso 8 en CE3.

Hay que hacer una anotación en la forma de cálculo de CE3: se utiliza indistintamente en la introducción de los rendimientos medios estacionales el del sistema y el del equipo. Esto se hace al despreciar la influencia del rendimiento de distribución y del rendimiento de control. CERMA y CE3 también realizan esta simplificación, salvo CE3 en gran terciario, en el que existe la posibilidad de introducir pérdidas en distribución.

Cuando se diseña un sistema en CYPE compuesto por unos equipos, se puede asumir que dichos equipos, sean cuales fueran sus rendimientos, conseguirían rendimientos medios estacionales del sistema global iguales a los tabulados ya mencionados previamente y usados en nuestro método de referencia [1]. Sin embargo, cuando no se conocen los equipos o no se pueden introducir en CE3 y CERMA (por no poder representarse, por ejemplo, por los sistemas que vienen por defecto), se debería introducir equipos cuya existencia darían un rendimiento medio estacional del sistema igual al usado en el método de referencia.

Esto, que parece redundante ya que se ha dicho que en CE3 se asumen dichos rendimientos de equipos y de sistema como iguales, no es así cuando el equipo no aporta calor o frío a todo el edificio. De esta forma, si introducimos un rendimiento medio estacional en un espacio, la repercusión de ese equipo en el edificio global provocará un rendimiento distinto. En



el caso que estamos estudiando, a modo de ejemplo, la introducción de una máquina frigorífica de rendimiento 1,7 acondicionando el 79 % de la superficie (excluyendo los baños y el aseo) nos daría una demanda de refrigeración de 43,67 kWh/m<sup>2</sup> y un consumo de 24,10 kWh/m<sup>2</sup> y, por tanto, un rendimiento medio estacional de 1,81.

Para evitar esta circunstancia, en la que nos encontraríamos usando un rendimiento medio estacional del sistema distinto en el método de referencia y en CE3 en ausencia de pérdidas de distribución y control, tomaremos como acondicionadas por el equipo el 100% de la superficie. De esta forma la comparación poseerá una mayor exactitud y se usará cuando el % no sea del 100% y se introduzcan los sistemas y equipos en CE3 como de rendimientos medios estacionales conocidos. Esta circunstancia no ocurre en CERMA y ha de tenerse en cuenta como dato derivado de CE3.

Además, este criterio no se aleja del comportamiento real, ya que los baños y aseos poseen una aportación de aire desde las zonas más nobles de la vivienda.

Resultados

Tabla V.24.- Indicadores obtenidos en el caso 8.

	Demanda (kWh/m <sup>2</sup> )					Consumo (kWh/m <sup>2</sup> )					Emisiones de CO2 (kg/m <sup>2</sup> )				
	Calefacción	Refrigeración	ACS	TOTAL	Diferencia (%)	Calefacción	Refrigeración	ACS	TOTAL	Diferencia (%)	Calefacción	Refrigeración	ACS	TOTAL	Diferencia (%)
CYPE / E+	31,24	43,72	14,60	89,56		11,57	25,72	16,59	53,88		4,30	9,57	6,17	20,04	
CERMA	59,10	30,80	20,30	110,20	23%						14,20	11,70	13,30	39,30	96%
CE3	60,21	43,67	16,75	120,63	35%	22,30	25,69	16,92	64,91	20%	14,47	16,67	10,98	42,12	110%

Rendimiento medio estacional y factor de conversión

Tabla V.25.- Rendimiento medio estacional y factor de conversión obtenidos en el caso 8.

	Rendimiento			Factor de conversión (kg CO2 /kWh E. final)		
	Calefacción	Refrigeración	ACS	Calefacción	Refrigeración	ACS
CYPE / E+	2,70	1,70	0,88	0,37	0,37	0,37
CERMA	2,70	1,70	0,99	0,65	0,65	0,58
CE3	2,70	1,70	0,99	0,65	0,65	0,65

### Análisis de resultados del caso

#### *Demanda de energía*

El análisis de la demanda, dado que envolvente y cargas son idénticas a las del caso 6, es análogo al realizado en ese punto.

#### *Consumo de energía*

Los sistemas presentes se han introducidos como sistemas de rendimiento medio estacional conocidos. Por tanto, sin existir ausencia de calefacción o refrigeración, los consumos son proporcionales a las demandas con idéntica constante de proporcionalidad en todos los procedimientos.

Además, dado que el rendimiento medio estacional de calefacción es superior al supuesto en ausencia de sistema del caso 6, nos encontramos con la menor demanda, consumo y porcentaje de diferencia en CE3 (20%) de todos los casos del unifamiliar.

#### *Emisiones de CO<sub>2</sub>*

Las diferencias porcentuales, si bien en consumos son bajas, en emisiones son de un 96 % en CERMA y un 109 % en CE3. Esto, dado que el rendimiento es idéntico y que las diferencias no poseen un valor tan elevado en demandas, está originado en el factor de corrección, que como ya vimos en ejemplos anteriores, es mayor al usado en nuestro método de referencia.

#### *Rendimiento medio estacional*

Los rendimientos medios estacionales son idénticos y fijados en todos los casos.

#### *Factor de conversión*

En este caso, siendo el tipo de energía idéntica (electricidad) en calefacción, refrigeración y ACS, el factor debe coincidir. Si bien es cierto que lo hace, el valor es distinto al tomado en el método de referencia [1] y coincidente con el de otros casos (0,65).

### **Caso 9: BC reversible aire-agua y distribución a fancoils**

#### Definición de sistema en CYPE

El sistema de generación es una bomba de calor (BC) aire-agua reversible de refrigeración que abastece un circuito de agua, que a su vez alimenta fancoils. Modelo Ecolean EAR 0151SKHN "LENNOX", potencia frigorífica nominal de 13,3 kW y potencia calorífica nominal de 13,5 kW.

Los fancoils son de los siguientes tipos:

- Fancoil, modelo BHW 720 "HITECSA", sistema de dos tubos, potencia frigorífica total nominal de 20,2 kW, potencia calorífica nominal de 26,5 kW. Tiene como entrada el circuito de agua climatizada proveniente de la bomba de calor reversible. Compensa la demanda de recibidor, salón y cocina.
- Fancoil mural, sistema de 2 tubos, potencia frigorífica nominal de 2,04 kW y potencia calorífica nominal de 4,65 kW. Habrá una unidad en cada espacio restante. Aun existiendo estas unidades en baños y aseo, se supondrán estos espacios como solo calefactados.

Los modelos o marcas de los fancoils no coinciden con los utilizados en casos anteriores. Se pretende con esto, buscar una mayor variedad en los sistemas diseñados y estudiados. En este caso, sin embargo, aunque cambie el EER o COP del equipo, no afectará a los cálculos al introducirlos como sistemas de rendimiento medio estacional conocidos.

Introducción de sistema en CERMA y CE3

La introducción del sistema en CERMA, así como en CE3, se realiza como sistemas de rendimiento medio estacional conocido.

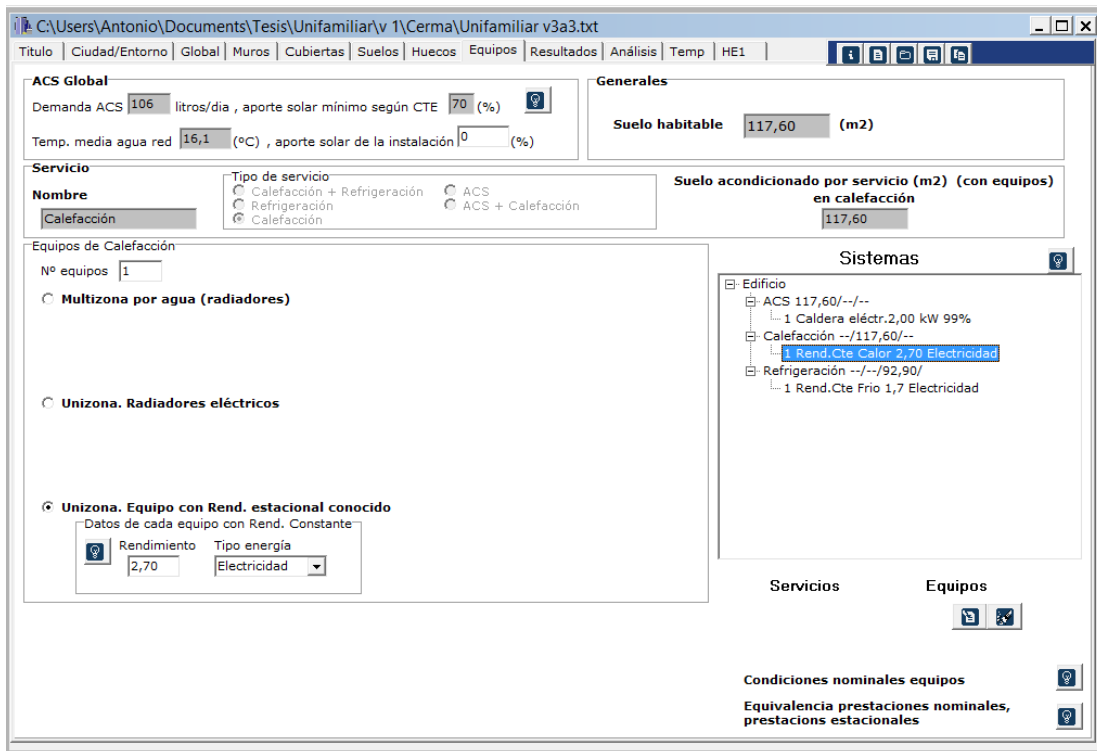


Figura V.20.- Introducción de sistema del caso 9 en CERMA.

Figura V.21.- Introducción de sistema del caso 9 en CE3.

**Resultados**

Tabla V.26.- Indicadores obtenidos en el caso 9.

	Demanda (kWh/m <sup>2</sup> )					Consumo (kWh/m <sup>2</sup> )					Emisiones de CO2 (kg/m <sup>2</sup> )				
	Calefacción	Refrigeración	ACS	TOTAL	Diferencia (%)	Calefacción	Refrigeración	ACS	TOTAL	Diferencia (%)	Calefacción	Refrigeración	ACS	TOTAL	Diferencia (%)
CYPE / E+	33,23	32,89	14,60	80,72		12,31	19,35	16,59	48,25		4,58	7,20	6,17	17,95	
CERMA	60,30	30,40	20,30	111,00	38%						14,50	11,60	13,30	39,40	120%
CE3	64,26	43,36	16,75	124,37	54%	23,80	25,51	16,92	66,23	37%	15,45	16,55	10,98	42,98	139%

**Rendimiento medio estacional y factor de conversión**

Tabla V.27.- Rendimiento medio estacional y factor de conversión obtenidos en el caso 9.

	Rendimiento			Factor de conversión (kg CO2 /kWh E. final)		
	Calefacción	Refrigeración	ACS	Calefacción	Refrigeración	ACS
CYPE / E+	2,70	1,70	0,88	0,37	0,37	0,37
CERMA	2,70	1,70	0,99	0,65	0,65	0,58
CE3	2,70	1,70	0,99	0,65	0,65	0,65

### Análisis de resultados del caso

#### *Demanda de energía*

El análisis de la demanda, ante la ausencia de cambios en la envolvente y las cargas térmicas, es análogo al del caso 1.

#### *Consumo de energía*

Los sistemas presentes han sido introducidos con un rendimiento medio estacional determinado, presentes en la tabla V.27. No habiendo ausencia de calefacción o refrigeración, los consumos se obtienen de las demandas dividiendo por dicho rendimiento, idéntico en todos los procedimientos.

Dado que el rendimiento medio estacional de calefacción es superior a los supuestos en ausencia de sistema del caso 1, se obtiene consumo y porcentaje de diferencia menores en CE3 (37%) respecto de dicho caso.

#### *Emisiones de CO<sub>2</sub>*

Las diferencias porcentuales en emisiones son de un 120 % en CERMA y un 136 % en CE3. Siendo el rendimiento el mismo y las diferencias en demandas menores, este comportamiento está originado por el factor de corrección.

#### *Rendimiento medio estacional*

Los rendimientos medios estacionales son idénticos y fijados en todos los casos.

#### *Factor de conversión*

El tipo de energía, como en casos anteriores, es idéntica en todos los casos (electricidad). Por tanto, el factor debe coincidir.

Esto es cierto, pero con un valor distinto al tomado en el método de referencia [1] y coincidente con el de otros casos (0,65).

### **Resumen de demandas, consumos y emisiones del edificio unifamiliar**

A continuación, en la tabla V.28., se detallan las demandas, los consumos, y emisiones obtenidos para el edificio unifamiliar estudiado en los casos 1 a 9, con los distintos métodos y procedimientos utilizados.

Tabla V.28.- Tabla resumen de indicadores obtenidos en el edificio unifamiliar estudiado.

Caso	Método	Demanda (kWh/m <sup>2</sup> )					Consumo (kWh/m <sup>2</sup> )					Emisiones de CO2 (kg/m <sup>2</sup> )				
		Calefacción	Refrigeración	ACS	TOTAL	Diferencia con E+ (%)	Calefacción	Refrigeración	ACS	TOTAL	Diferencia con E+ (%)	Calefacción	Refrigeración	ACS	TOTAL	Diferencia con E+ (%)
1	E +	33,23	32,89	14,60	80,72		33,23	16,45	16,59	66,27		12,36	6,12	6,17	24,65	
	CERMA	60,3	30,4	20,3	111,0	38%						39,4	11,6	13,3	63,8	159%
	CE3 - 1A	64,26	43,36	16,75	124,37	54%	114,83	17,99	16,92	149,74	126%	74,53	11,68	10,98	97,19	294%
	CE3 - 1B	64,26	43,36	16,75	124,37	54%	64,26	17,99	16,92	99,17	50%	41,70	11,68	10,98	64,36	161%
2	E +	32,04	40,07	14,60	86,71		33,03	20,04	16,59	69,66		12,29	7,45	6,17	25,91	
	CERMA - 2A	59,7	30,6	20,3	110,6	28%						39,8	11,7	13,3	64,8	150%
	CERMA - 2B	59,7	30,6	20,3	110,6	28%						39,9	11,7	13,3	65,0	151%
	CE3	60,81	44,28	16,75	121,84	41%	62,69	18,37	16,92	97,98	41%	40,68	11,92	10,98	63,58	145%
3	E +	33,23	32,89	14,60	80,72		12,31	16,45	16,59	45,34		4,58	6,12	6,17	16,87	
	CERMA	60,3	30,4	20,3	111,0	38%						14,5	11,6	13,3	39,9	137%
	CE3	64,26	43,36	16,75	124,37	54%	23,80	17,99	16,92	58,71	29%	15,45	11,68	10,98	38,11	126%
4	E +	33,23	32,89	14,60	80,72		12,31	14,30	16,59	43,20		4,58	5,32	6,17	16,07	
	CERMA	60,3	30,4	20,3	111,0	38%						14,9	9,0	13,3	37,2	131%
	CE3	64,26	43,36	16,75	124,37	54%	40,29	18,40	16,92	75,61	75%	19,66	11,94	10,98	42,58	165%
5	E +	33,23	32,89	14,60	80,72		36,12	19,35	16,59	72,06		9,10	7,20	6,17	22,47	
	CERMA	60,3	30,4	20,3	111,0	38%						23,1	11,6	13,3	48,0	114%
	CE3	64,26	43,36	16,75	124,37	54%	85,67	25,51	16,92	128,10	78%	24,59	16,55	10,98	52,12	132%
6	E +	31,24	43,72	14,60	89,56		33,96	25,72	16,59	76,27		8,56	9,57	6,17	24,30	
	CERMA	59,1	30,8	20,3	110,2	23%						22,6	11,7	13,3	47,7	96%
	CE3	60,21	43,67	16,75	120,63	35%	80,28	25,69	16,92	122,89	61%	23,04	16,67	10,98	50,69	109%
7	E +	33,23	32,89	14,60	80,72		22,76	14,30	16,59	53,65		8,47	5,32	6,17	19,96	
	CERMA	60,3	30,4	20,3	111,0	38%						18,8	9,0	13,3	41,2	106%
	CE3	64,26	43,36	16,75	124,37	54%	46,38	18,40	16,92	81,70	52%	30,10	11,94	10,98	53,02	166%
8	E +	31,24	43,72	14,60	89,56		11,57	25,72	16,59	53,88		4,30	9,57	6,17	20,04	
	CERMA	59,1	30,8	20,3	110,2	23%						14,2	11,7	13,3	39,3	96%
	CE3	60,21	43,67	16,75	120,63	35%	22,30	25,69	16,92	64,91	20%	14,47	16,67	10,98	42,12	110%
9	E +	33,23	32,89	14,60	80,72		12,31	19,35	16,59	48,25		4,58	7,20	6,17	17,95	
	CERMA	60,3	30,4	20,3	111,0	38%						14,5	11,6	13,3	39,4	120%
	CE3	64,26	43,36	16,75	124,37	54%	23,80	25,51	16,92	66,23	37%	15,45	16,55	10,98	42,98	139%

### V.3. OFICINAS

Este edificio, cuyo uso no es residencial, se considera como pequeño y mediano terciario. Esto conlleva la no obligatoriedad de ACS de un lado, y de otro, la existencia de un consumo en iluminación.

Se ha comprobado en los diversos casos estudiados, que una variación en las condiciones de iluminación dadas en CE3, no modifica las demandas ni consumos de calefacción y refrigeración. Por tanto, CE3 no contempla la reducción de calor a aportar en calefacción por la iluminación ni el aumento necesario de refrigeración.

Sin embargo CYPE sí tiene en cuenta tanto, en los cálculos de calefacción como de refrigeración, esta carga de iluminación. Por el contrario, CYPE no exporta a EnergyPlus valores que permitan calcular demandas y consumos en electricidad.

Por todo esto, se plantea la comparación entre los valores de refrigeración y calefacción dados por los programas, pero se tiene especial cuidado en la comparación de la suma de demandas de calefacción y refrigeración y en la suma de consumos, ya que en este valor, no debe tener efecto haber incluido la iluminación en cuanto a restarlo y sumarlo en calefacción y refrigeración. Aún así, siendo datos dados por los distintos programas, se compararán los resultados obtenidos en cuanto a calefacción y refrigeración individualmente.

Independientemente de esto, y para complementar la información, se darán los resultados obtenidos en CE3 de demanda, consumo y emisiones de iluminación, supuesta esta con potencia instalada de  $5 \text{ w/m}^2$ , iluminación media de 140 lux y eficiencia de 0,90.

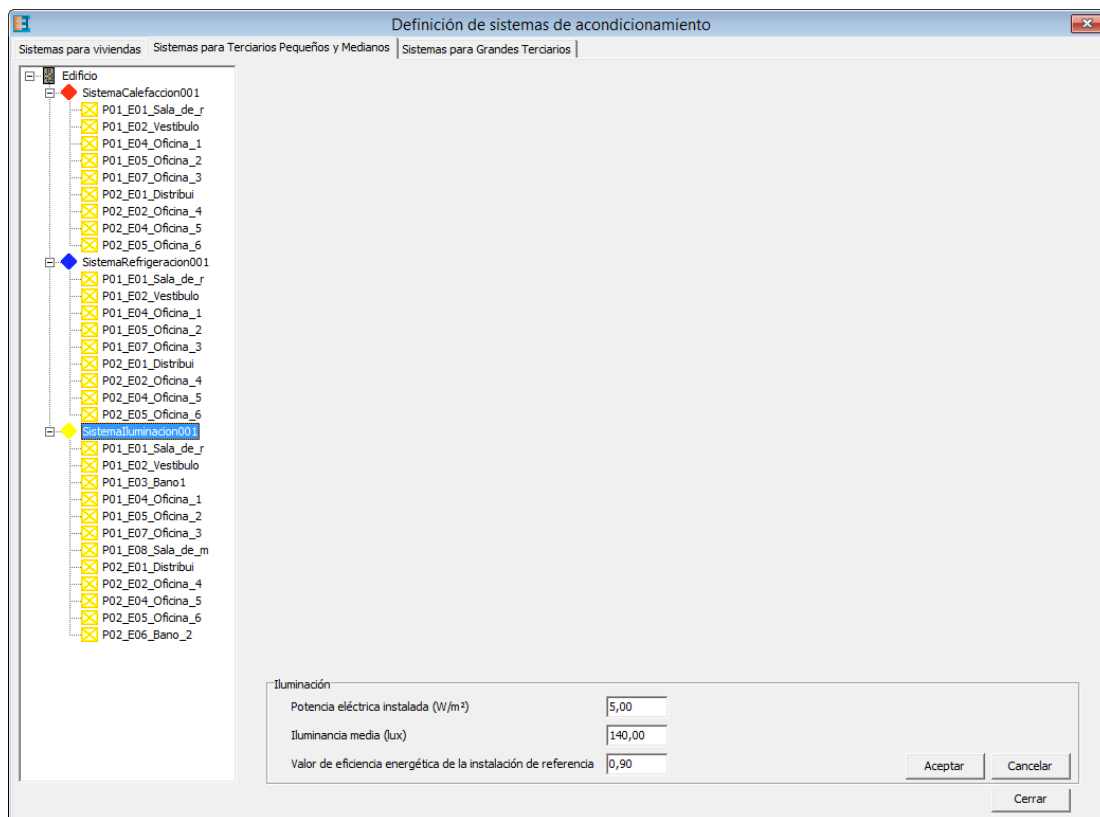


Figura V.22.- Introducción del sistema de iluminación de los casos 10,11 y 12 en CE3.

Las imágenes y composición de cerramientos del edificio de oficinas han sido vistos previamente en el capítulo III.

Se procede a la descripción del sistema en cada apartado, tomando los baños y la sala de máquinas como espacios sin climatizar.

Las tablas de actividad de CYPE se simulan suponiendo un horario de 8h a 15h de trabajo en verano y de 8h a 20h en invierno. Esta actividad se refleja en iluminación y ocupación,

permitiendo una ventilación y otras cargas durante todo el día. Estas actividades que CYPE usará en la pestaña de climatización para calcular demandas reales, y que en la pestaña de estudio térmico asemeja a condiciones operacionales de CTE, dado el sistema de exportación a CAENER VYP de CYPE, y la posibilidad de importación desde CE3 de este tipo de ficheros, deben ser automáticamente llevadas a dicho procedimiento simplificado con esta pasarela desde CYPE.

Se realiza la introducción del edificio en CE3 de esta forma:

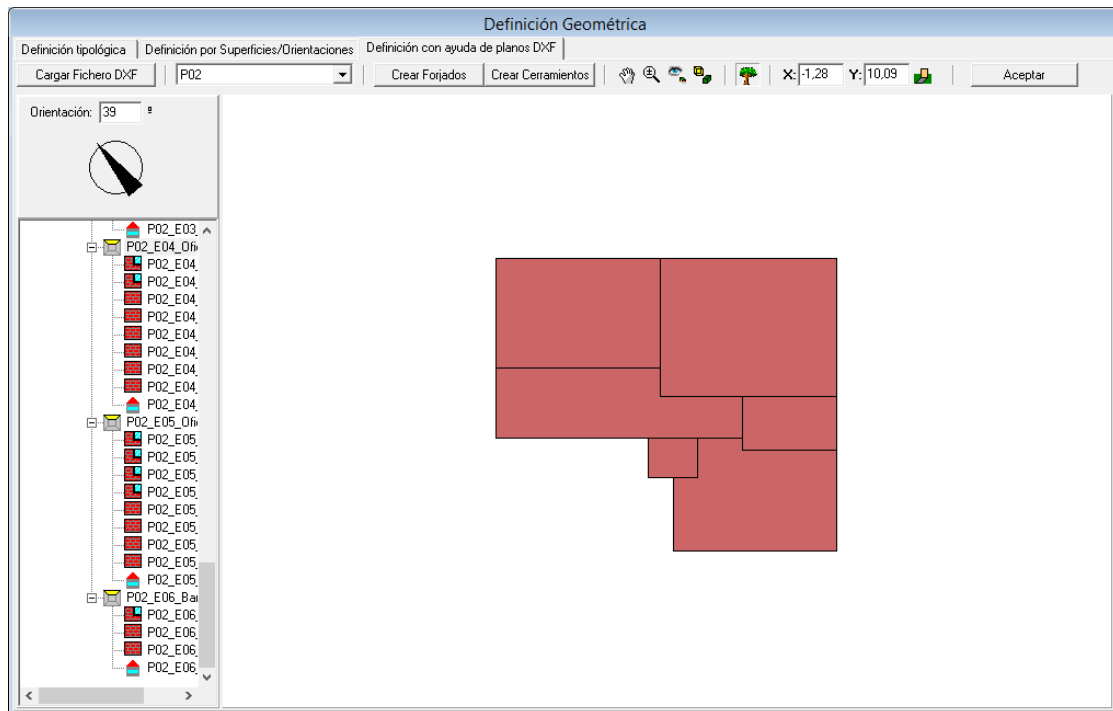


Figura V.23.- Importación del edificio del caso 10 a CE3.

Revisadas las condiciones operacionales, se comprueba que no se han llevado correctamente a CE3, y se procede a la modificación manual de estos valores.

Se simulan mediante intensidad media durante 12h en aquellos espacios de uso despacho, intensidad alta de 12h en sala de reuniones e intensidad baja de 12h en los espacios de distribución.

En CYPE, al igual que en CE3 según se ha mencionado, se tomará un valor para iluminación de 5 W/m<sup>2</sup>.



### V.3.1. Caso 10: Sistema de agua en calefacción y sistema aire-agua en refrigeración.

#### Definición de sistema en CYPE

##### Calefacción con radiadores

A los emisores llega agua calentada en una caldera convencional de pie, de hierro fundido, a gas, de 54 kW.

Se usa como emisor un radiador de aluminio inyectado, idéntico al del caso 1, formado por elementos de 425 mm de altura, con frontal plano, con una emisión calorífica de 74,7 kcal/h cada uno, según UNE-EN 442-1, para una diferencia media de temperatura de 50°C entre el radiador y el ambiente.

Se incorporan radiadores según la siguiente tabla V.29.

Tabla V.29.- Listado de emisores del caso 10 en oficinas.

Recintos	Plantas	Referencia	Pérdidas caloríficas (W)	Elementos		Longitud (mm)	Potencia (W)
				Número	Altura (mm)		
Distribuidor	Planta 1	A8	1029	13	425	1040	1100
Oficina 4	Planta 1	A5	1030	10	425	800	846
Oficina 5	Planta 1	A6	1380	13	425	1040	1100
Oficina 6	Planta 1	A7	1270	13	425	1040	1100
Oficina 1	Planta baja	A10	1116	11	425	880	931
Oficina 2	Planta baja	A9	655	6	425	480	508
Oficina 3	Planta baja	A8	1256	12	425	960	1015
		A11	5481	10	425	800	846
Sala de reuniones	Planta baja	A12	5481	10	425	800	846
		A14	5481	9	425	720	762
		A15	5481	9	425	720	762
Vestíbulo	Planta baja	A13	1611	8	425	640	677
		A16	1611	7	425	560	592

##### Refrigeración con sistema aire-agua: máquina frigorífica con fancoils

Se diseña el sistema alimentado por BC aire-agua no reversible de refrigeración que abastece un circuito de agua, que a su vez alimenta fancoils. El modelo de la máquina frigorífica, aire-agua, es EWCZ 801 "HITECSA", potencia frigorífica nominal de 19,8 kW.

Los fancoils son de los siguientes tipos:

- Fancoil de cassette, sistema de dos tubos, de 1170x570x295 mm, potencia frigorífica total nominal de 7,63 kW. Aporta aire a la sala de reuniones.

- Fancoil de cassette, sistema de dos tubos, de 570x570x295 mm, potencia frigorífica total nominal de 2,03 kW. Aporta aire al vestíbulo.
- Fancoil de cassette, sistema de dos tubos, de 1170x570x295 mm, potencia frigorífica total nominal de 3,43 kW. Aporta aire al distribuidor.
- Fancoil mural, sistema de dos tubos, potencia frigorífica total nominal de 2,04 kW. Se ubica un elemento como este en cada oficina.

### Introducción del sistema en CE3

La introducción del sistema en CE3 se realiza mediante sistemas existente en dicho programa con la definición de los parámetros que se reflejan en las figuras V.24. y V.25.

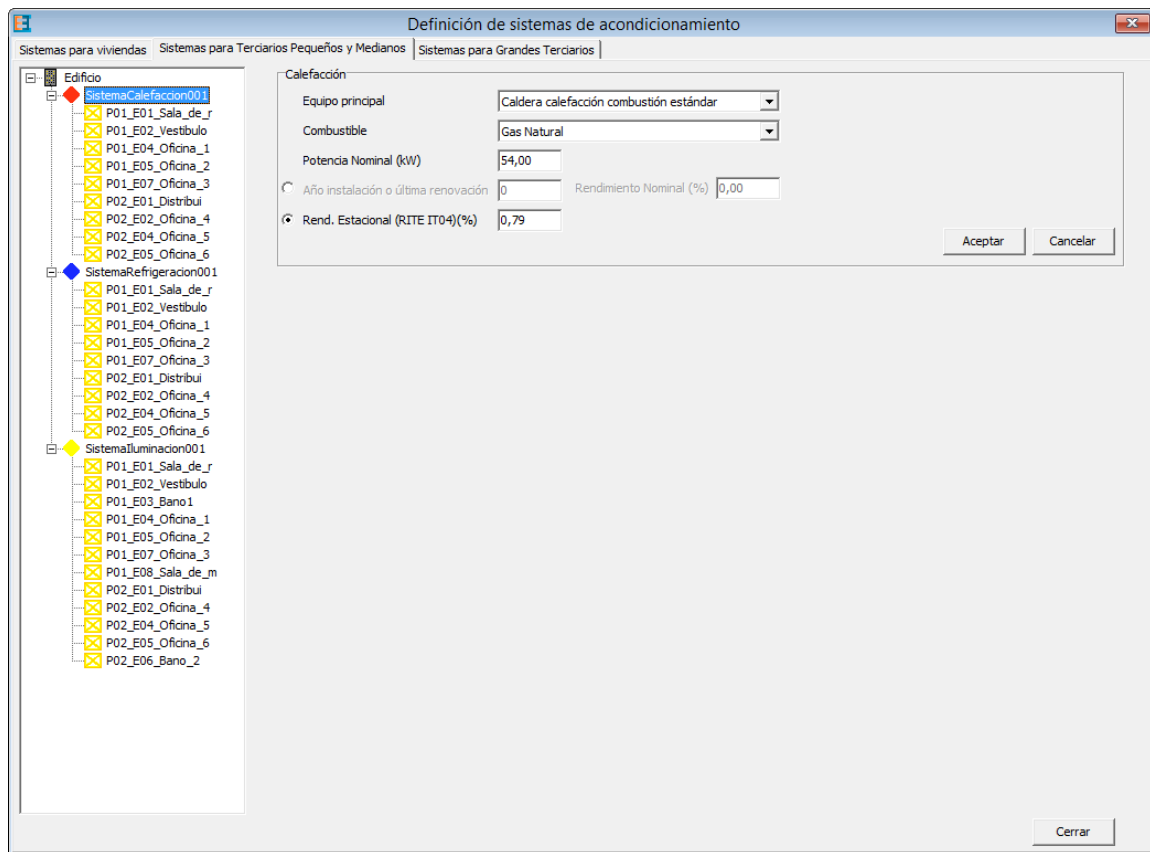


Figura V.24.- Introducción del sistema de calefacción del caso 10 en CE3.

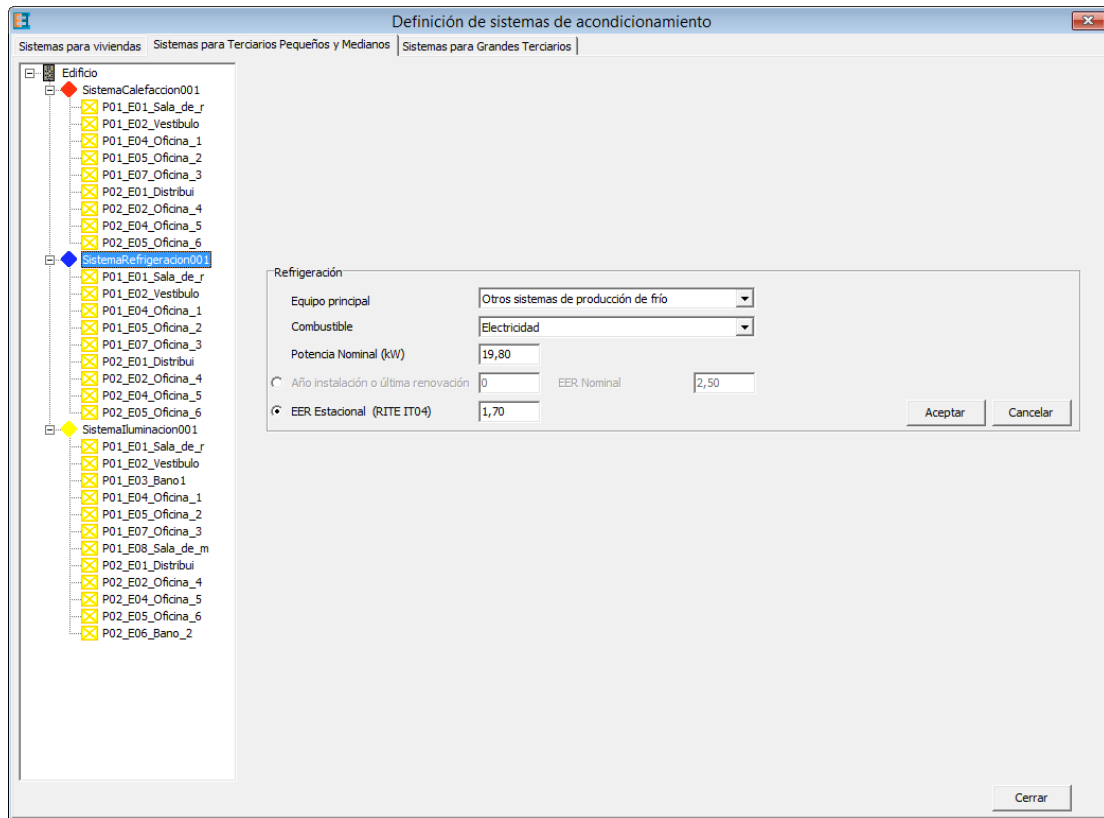


Figura V.25.- Introducción del sistema de refrigeración del caso 10 en CE3.

**Resultados**

Tabla V.30.- Indicadores obtenidos en el caso 10.

	Demanda (kWh/m <sup>2</sup> )					Consumo (kWh/m <sup>2</sup> )					Emisiones de CO2 (kg/m <sup>2</sup> )				
	Calefacción	Refrigeración	Iluminación	TOTAL	Diferencia (%)	Calefacción	Refrigeración	Iluminación	TOTAL	Diferencia (%)	Calefacción	Refrigeración	Iluminación	TOTAL	Diferencia (%)
CYPE / E+	8,07	51,19		59,26		10,22	30,11		40,33		2,57	11,20		13,78	
CE3	75,07	35,94	4,54	111,01	87%	95,03	21,14	16,21	116,17	188%	19,39	13,72	10,52	33,11	140%

**Rendimiento medio estacional y factor de conversión**

Tabla V.31.- Rendimiento medio estacional y factor de conversión obtenidos en el caso 10.

	Rendimiento			Factor de conversión (kg CO2 /kWh E. final)		
	Calefacción	Refrigeración	Iluminación	Calefacción	Refrigeración	Iluminación
CYPE / E+	0,79	1,70		0,25	0,37	0,37
CE3	0,79	1,70	0,28	0,20	0,65	0,65

## Análisis de resultados del caso

### Demanda de energía

Se obtiene una demanda total mucho mayor en CE3 que en el caso del unifamiliar, habiendo sido utilizada la pasarela CYPE – CALENER – CE3 y siendo modificadas las condiciones operacionales.

Aunque la demanda de refrigeración obtenida disminuye en CE3 respecto de nuestro método de referencia, la demanda de calefacción (75,07 kWh/m<sup>2</sup>) posee un valor superior a 9 veces la de éste (8,07 kWh/m<sup>2</sup>).

Por otro lado, la demanda es función de la envolvente, y esta se ha obtenido directamente exportando de CYPE a LIDER/CALENER VYP y de LIDER/CALENER VYP importando a CE3. Así pues, dado que no existe ninguna operación de introducción de datos, sino que es todo proveniente del mismo fichero de CYPE, no debería haber error posible en la metodología.

Independientemente de este razonamiento, que lleva a tomar por válidos los resultados anteriores, para ver dónde se encuentran las principales diferencias, cabe comprobar que las distintas exportaciones generan ficheros válidos y que se corresponden con el caso inicial.

Ya se ha mencionado la no exactitud en la importación de las condiciones operacionales, pero no se analizan ahora debido a que fueron modificadas y no causan efecto en este resultado.

La exportación a CALENER se produce con los siguientes avisos de CYPE:

- Dado que el programa 'CALENER VYP' sólo admite capas con un espesor no inferior a 1 milímetro, los siguientes materiales han tenido que ser modificados:

- ....> Material - Film de polietileno (0.0002 m)
- ....> Material - Geotextil de poliéster (0.0008 m)
- ....> Cubierta plana transitable, no ventilada, con solado fijo, impermeabilización mediante láminas asfálticas. (Forjado unidireccional) - Geotextil de poliéster (0.0008 m)
- ....> Solera - Film de polietileno (0.0002 m)

Estos avisos son los únicos que se producen, y debido a ellos o a una incorrecta exportación, se observa como las transmitancias de los elementos que componen la envolvente en CALENER VYP difieren de las que se han calculado en CYPE.

Esta diferencia en el valor, como ejemplo, podemos observarlo en el valor de la transmitancia del suelo de la envolvente, cuyo valor en CYPE es de 0,28 W/m<sup>2</sup>·K. Podemos ver en la figura V.26. que el valor del fichero obtenido en CALENER VYP es de 0,38 W/m<sup>2</sup>·K.

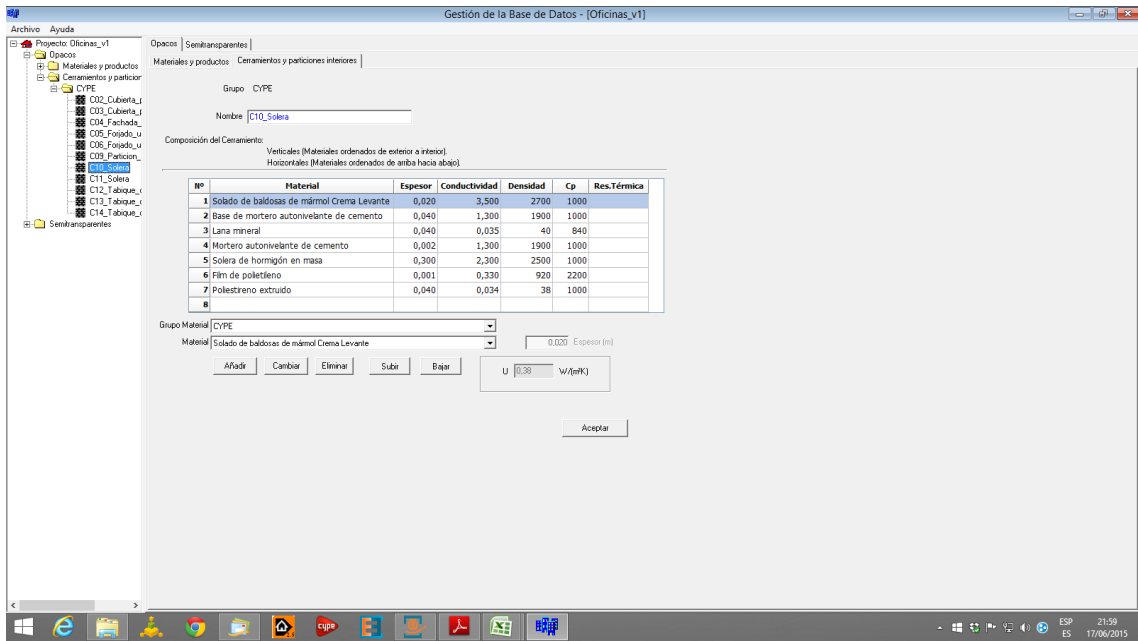


Figura V.26.- Transmitancia del suelo en fichero exportado a CALENER VYP en el caso 10.

Sin ser objeto de esta tesis, se ha procedido al cálculo de emisiones con CALENER VYP en el fichero obtenido desde CYPE. El resultado lo podemos observar en la figura V.27. El valor de demanda de calefacción obtenido es de 32,6 kWh/m<sup>2</sup>.

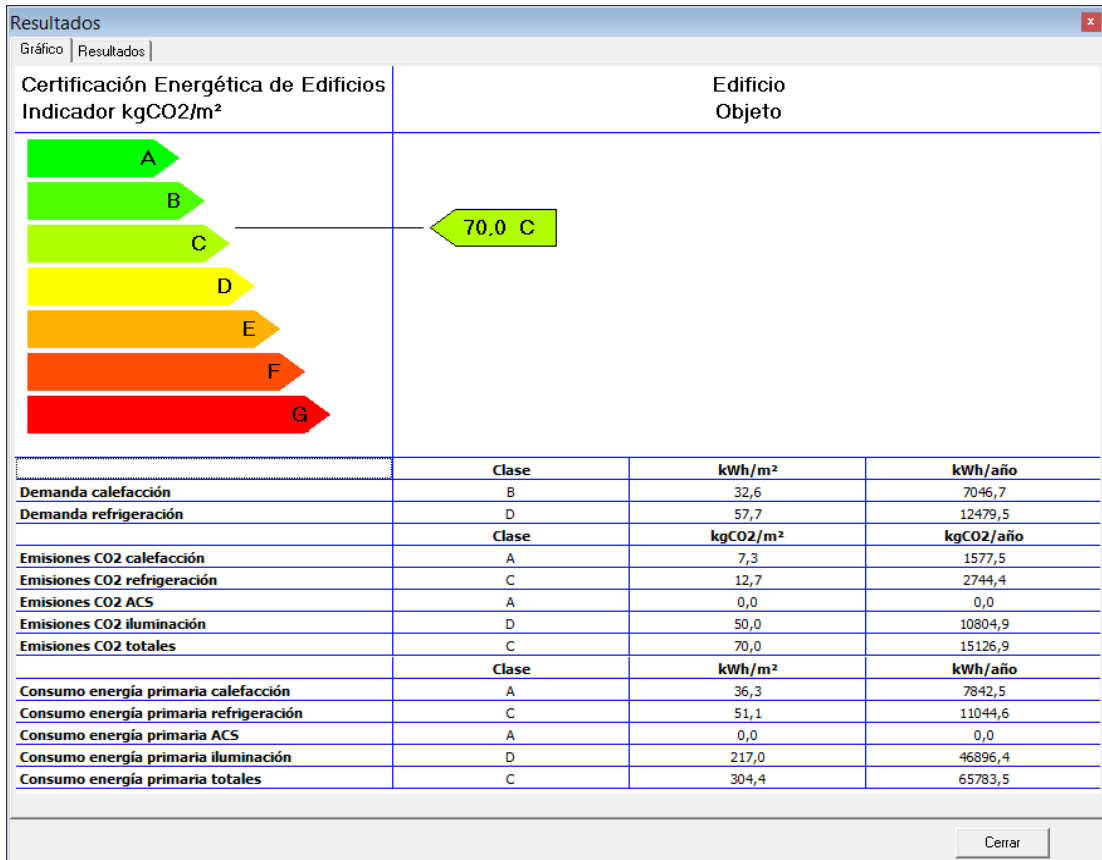


Figura V.27.- Resultados obtenidos en CALENER VYP con fichero exportado desde CYPE en el caso 10.

Visto que el único aviso se produce por la exportación de distintos materiales, y que eso provoca una variación en las transmitancias de la envolvente en CALENER VYP, se estudia cómo afecta esa importación en CE3.

Se observa que la transmitancia obtenida en el diseño de CE3 tras la importación no coincide ni con la de CYPE ni con la de CALENER para los distintos cerramientos.

2. ENVOLVENTE TÉRMICA

Cerramientos opacos

Nombre	Tipo	Superficie [m <sup>2</sup> ]	Transmitancia [W/m <sup>2</sup> ·K]	Modo de obtención
C02_Cubierta_plana_transitab	IMPORTADO_DE_LIDER_Y_CALENER	149,87	1,10	Definido por usuario
C03_Cubierta_plana_transitab	IMPORTADO_DE_LIDER_Y_CALENER	2,14	1,45	Definido por usuario
C04_Fachada_cara_vista_de_do	IMPORTADO_DE_LIDER_Y_CALENER	271,59	2,32	Definido por usuario
C05_Forjado_unidireccional	IMPORTADO_DE_LIDER_Y_CALENER	72,45	1,24	Definido por usuario
C06_Forjado_unidireccional	IMPORTADO_DE_LIDER_Y_CALENER	8,42	1,75	Definido por usuario
C09_Particion_virtual	IMPORTADO_DE_LIDER_Y_CALENER	5,71	4,55	Definido por usuario
C10_Solera	IMPORTADO_DE_LIDER_Y_CALENER	141,68	1,63	Definido por usuario
C11_Solera	IMPORTADO_DE_LIDER_Y_CALENER	2,37	1,96	Definido por usuario
C12_Tabique_de_una_hoja_con	IMPORTADO_DE_LIDER_Y_CALENER	12,02	1,50	Definido por usuario
C13_Tabique_de_una_hoja_reve	IMPORTADO_DE_LIDER_Y_CALENER	171,16	3,42	Definido por usuario
C14_Tabique_de_una_hoja_reve	IMPORTADO_DE_LIDER_Y_CALENER	33,62	3,10	Definido por usuario

Figura V.28.- Características de la envolvente obtenida en oficinas en CE3 con exportación sin modificación.

Estos valores de transmitancias son muy distintos de los obtenidos en CYPE (y CALENER) en el diseño de cerramientos. Debido a ello, y con intención de comprobar el efecto sobre el resultado final obtenido en CE3, se procede a la introducción manual de nuevos cerramientos con transmitancias y densidades superficiales idénticas a las de CYPE. Posteriormente se asocia cada superficie exterior de la envolvente a estos nuevos cerramientos definidos.

2. ENVOLVENTE TÉRMICA

Cerramientos opacos

Nombre	Tipo	Superficie [m <sup>2</sup> ]	Transmitancia [W/m <sup>2</sup> ·K]	Modo de obtención
C05_Forjado_unidireccional	IMPORTADO_DE_LIDER_Y_CALENER	72,45	1,24	Definido por usuario
C09_Particion_virtual	IMPORTADO_DE_LIDER_Y_CALENER	5,71	4,55	Definido por usuario
C12_Tabique_de_una_hoja_con	IMPORTADO_DE_LIDER_Y_CALENER	12,02	1,50	Definido por usuario
C13_Tabique_de_una_hoja_reve	IMPORTADO_DE_LIDER_Y_CALENER	171,16	3,42	Definido por usuario
C14_Tabique_de_una_hoja_reve	IMPORTADO_DE_LIDER_Y_CALENER	33,62	3,10	Definido por usuario
GEN_Fachadas001	Fachadas	280,00	0,59	Definido por usuario
GEN_Cubiertas002	Cubiertas	122,76	0,27	Definido por usuario
GEN_Cubiertas003	Cubiertas	29,25	0,44	Definido por usuario
GEN_Suelos005	Suelos	141,68	0,24	Definido por usuario
GEN_Suelos006	Suelos	2,37	0,24	Definido por usuario

Figura V.29.- Características de la envolvente obtenida en oficinas en CE3 con valores modificados.

Con estos nuevos valores, se obtienen los siguientes resultados:

Tabla V.32.- Comparación de demandas obtenidas corrigiendo transmitancias en el caso 10 en CE3.

	Demanda (kWh/m <sup>2</sup> )				Diferencia (%)	
	Calefacción	Refrigeración	Iluminación	TOTAL		
CYPE / E+	8,07	51,19		59,26		
CE3	75,07	35,94	4,54	111,01	87%	Valores sin corrección de transmitancias
CE3 corregido	73,75	36,02	4,54	109,77	85%	Valores con corrección de transmitancias

Se concluye, por tanto, que el error cometido en la exportación en cuanto a cerramientos no tiene una repercusión significativa en los resultados obtenidos.

#### Consumo de energía

El análisis del consumo es análogo al de la demanda, dado que los rendimientos medios estacionales han sido fijados por nuestro método de referencia.

#### Emisiones de CO<sub>2</sub>

Las emisiones poseen un valor mucho más elevado en CE3 que en el método de referencia, siendo la diferencia entre ambos menor porcentualmente que en consumos. Esto es debido a los factores de conversión usados, que son mayores en calefacción en el método de referencia.

#### Rendimiento medio estacional

El rendimiento medio estacional ha sido tomado, para ambos programas, como el valor dado por la guía del IDAE [1]. Por tanto no hay variación entre ellos.

#### Factor de conversión

El factor de conversión posee un análisis idéntico a los casos previos del unifamiliar en cuanto a refrigeración.

En calefacción, siendo la generación con gas natural, debería poseer un factor de conversión idéntico al que tendría un edificio en ausencia de calefacción (como en otros casos estudiados), esto es, 0,25. Sin embargo, el valor usado es de 0,20.

### V.3.2. Caso 11: Sistema aire-agua en calefacción y refrigeración.

#### Definición de sistema en CYPE

Se diseña el sistema, alimentado por bomba de calor (BC) aire-agua reversible que abastece un circuito de agua único para ambas plantas, que a su vez alimenta fancoils.

El modelo de la BC reversible aire-agua es EWCBZ 801 "HITECSA", potencia frigorífica nominal de 19,4 kW y potencia calorífica nominal de 21,3 kW. Esta BC estará ubicada en la sala de máquinas.

Los fancoils son de los siguientes tipos:

- Fancoil de cassette, sistema de dos tubos, de 1170x570x295 mm, potencia frigorífica total nominal de 7,63 kW y potencia calorífica nominal de 8,74 kW. Aporta aire a la sala de reuniones.
- Fancoil de cassette, sistema de dos tubos, de 570x570x295 mm, potencia frigorífica total nominal de 2,03 kW y potencia calorífica nominal de 2,69 kW. Aporta aire al vestíbulo.
- Fancoil de cassette, sistema de dos tubos, de 570x570x295 mm, potencia frigorífica total nominal de 3,43 kW (temperatura húmeda de entrada del aire: 19°C; temperatura de entrada del agua: 7°C, salto térmico: 5°C), potencia calorífica nominal de 3,83 kW. Aporta aire al distribuidor.
- Fancoil mural, sistema de dos tubos, potencia frigorífica total nominal de 2,04 kW y potencia calorífica nominal de 4,65 kW. Se ubica un elemento como este en cada oficina.

La instalación entre plantas discurre a través del patinillo existente.

#### Introducción del sistema en CE3

Se introduce el sistema en CE3 con rendimiento medio estacional conocido, ya que las únicas opciones en calefacción disponibles con BC son tipo splits y BC aire-aire.



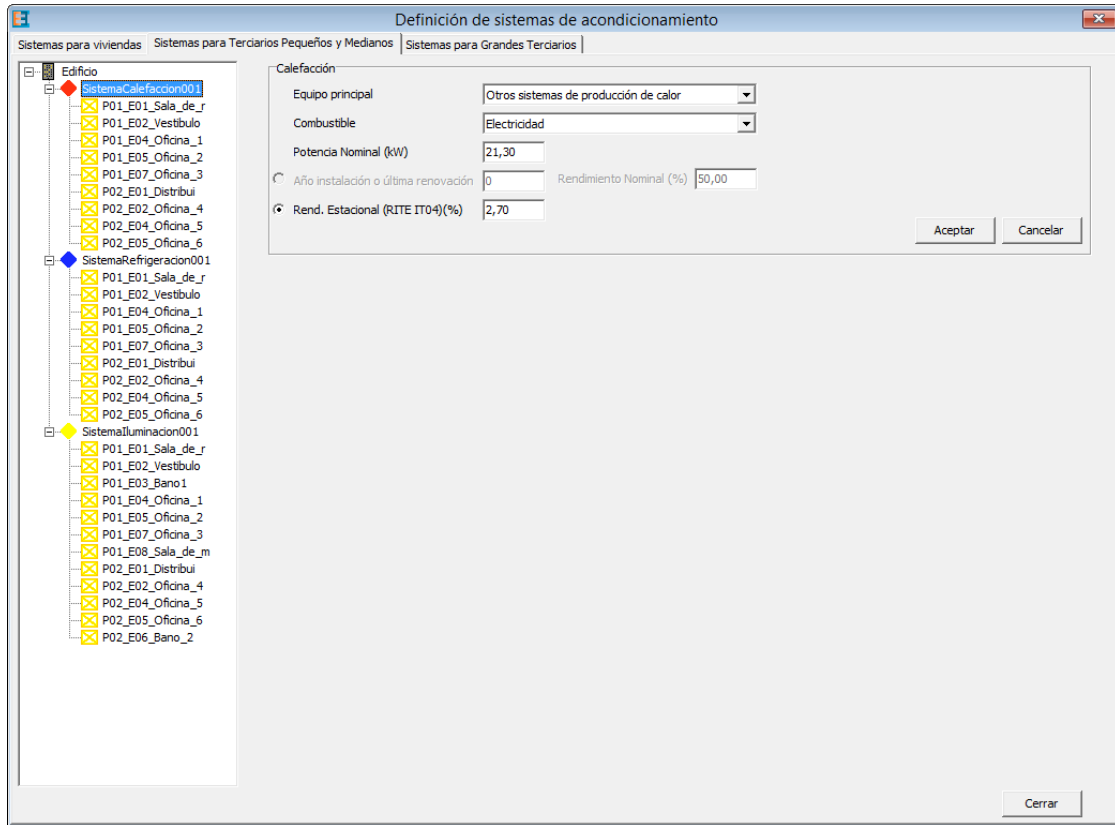


Figura V.30.- Introducción del sistema de calefacción del caso 11 en CE3.

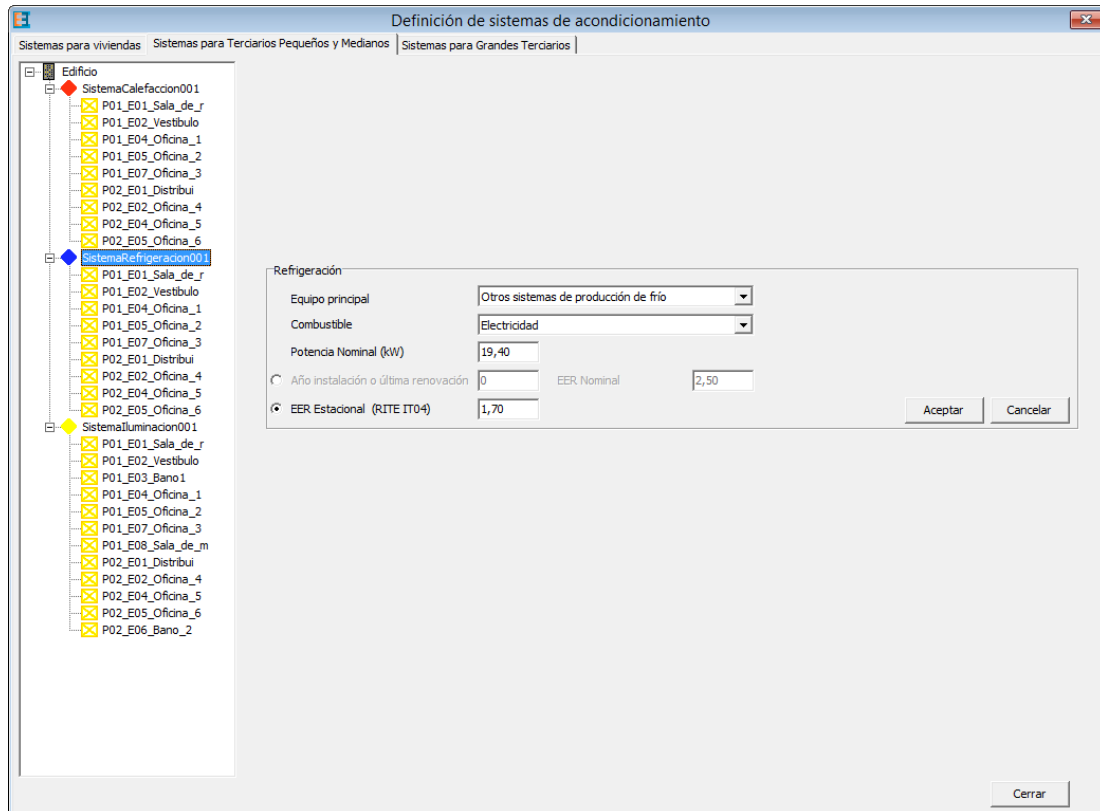


Figura V.31.- Introducción del sistema de refrigeración del caso 11 en CE3.

**Resultados**

Tabla V.33.- Indicadores obtenidos en el caso 11.

	Demanda (kWh/m <sup>2</sup> )					Consumo (kWh/m <sup>2</sup> )					Emisiones de CO <sub>2</sub> (kg/m <sup>2</sup> )				
	Calefacción	Refrigeración	Iluminación	TOTAL	Diferencia (%)	Calefacción	Refrigeración	Iluminación	TOTAL	Diferencia (%)	Calefacción	Refrigeración	Iluminación	TOTAL	Diferencia (%)
CYPE / E+	8,07	51,19		59,26		2,99	30,11		33,10		1,11	11,20		12,31	
CE3	75,07	35,94	4,54	111,01	87%	27,80	21,14	16,21	48,94	48%	18,04	13,72	10,52	31,76	158%

**Rendimiento medio estacional y factor de conversión**

Tabla V.34.- Rendimiento medio estacional y factor de conversión obtenidos en el caso 11.

	Rendimiento			Factor de conversión (kg CO <sub>2</sub> /kWh E. final)		
	Calefacción	Refrigeración	Iluminación	Calefacción	Refrigeración	Iluminación
CYPE / E+	2,70	1,70		0,37	0,37	0,37
CE3	2,70	1,70	0,28	0,65	0,65	0,65

**Análisis de resultados del caso**

Demanda de energía

Dado que no han sido modificadas las cargas a superar ni la envolvente, las demandas son idénticas a las obtenidas en el caso 10 y su análisis análogo.

Consumo de energía

Los consumos en refrigeración, debido a que el rendimiento medio estacional es el mismo que en el caso 10, coincide con el del caso anterior.

En calefacción, sin embargo, disminuye por el aumento del rendimiento del sistema introducido. Debido a esto, también disminuye el consumo total y la diferencia porcentual.

Emisiones de CO<sub>2</sub>

La diferencia porcentual en emisiones triplica la diferencia en consumo. El mayor aporte a esta diferencia está en las emisiones en calefacción.

### Rendimiento medio estacional

El rendimiento medio estacional ha sido fijado en CE3 por nuestro método de referencia.

### Factor de conversión

El factor de conversión posee idéntico análisis que en anteriores casos con energía eléctrica.

## **V.3.3. Caso 12: Unidad de aire acondicionado con sistema multisplit**

### **Definición de sistema en CYPE**

La distribución de splits se hace de 2 formas:

- Split 1x1: Equipo de aire acondicionado, sistema aire-aire split 1x1, de pared, para gas R-410A, bomba de calor, con tecnología Hyper Inverter, modelo HighCop SRK 20 ZMX "MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES", potencia frigorífica nominal 2 kW y potencia calorífica nominal 2,5 kW. Se ubica un split individual en cada oficina.
- Unidad exterior de aire acondicionado (ubicada en cubierta) que abastece a sistema multisplit: Unidad exterior de aire acondicionado, sistema aire-aire multisplit, para gas R-410A, bomba de calor, con tecnología Hyper Inverter, modelo SCM 125 ZJ "MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES", potencia frigorífica nominal 12,5 kW y potencia calorífica nominal 13,5 kW, con compresor Inverter. Alimenta a los splits de interior que se detallan a continuación:
  - Unidad interior de aire acondicionado, de pared, sistema aire-aire multisplit, para gas R-410A, modelo SRK 35 ZM "MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES", potencia frigorífica nominal 3,5 kW y potencia calorífica nominal 4,5 kW. Habrá una unidad en el vestíbulo.
  - Unidad interior de aire acondicionado, de cassette, de 600x600 mm, sistema aire-aire multisplit, para gas R-410A, bomba de calor, modelo FDTC 60 VF "MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES", potencia frigorífica nominal 6 kW y potencia calorífica nominal 6,8 kW. Unidad ubicada en la sala de reuniones.
  - Unidad interior de aire acondicionado, de pared, sistema aire-aire multisplit, para gas R-410A, bomba de calor, modelo SRK 60 ZMX "MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES", potencia frigorífica nominal 6

kW y potencia calorífica nominal 6,8 kW. Unidad ubicada en la sala de reuniones.

- Unidad interior de aire acondicionado, de pared, sistema aire-aire multisplit, para gas R-410A, bomba de calor, modelo SRK 50 ZM "MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES", potencia frigorífica nominal 5 kW y potencia calorífica nominal 5,8 kW. Unidad ubicada en el distribuidor de la planta primera.

### Introducción del sistema en CE3

En el diseño realizado en CYPE, las unidades ubicadas en el exterior y en cada oficina están definidas por potencias caloríficas y frigoríficas. Sin embargo, ni las especificaciones técnicas de los equipos dadas en CYPE ni las que referencia dicho programa en el catálogo de la marca, muestran los valores de COPs o EERs nominales.

Por tanto, se realiza la introducción del sistema en CE3 con equipos asignados a los espacios que climatiza, con valores de rendimientos medios estacionales idénticos a los usados en nuestro método de referencia.

Dado que sería extenso mostrar una figura del equipo introducido en cada espacio, se reflejan a continuación las correspondientes al sistema multisplit.

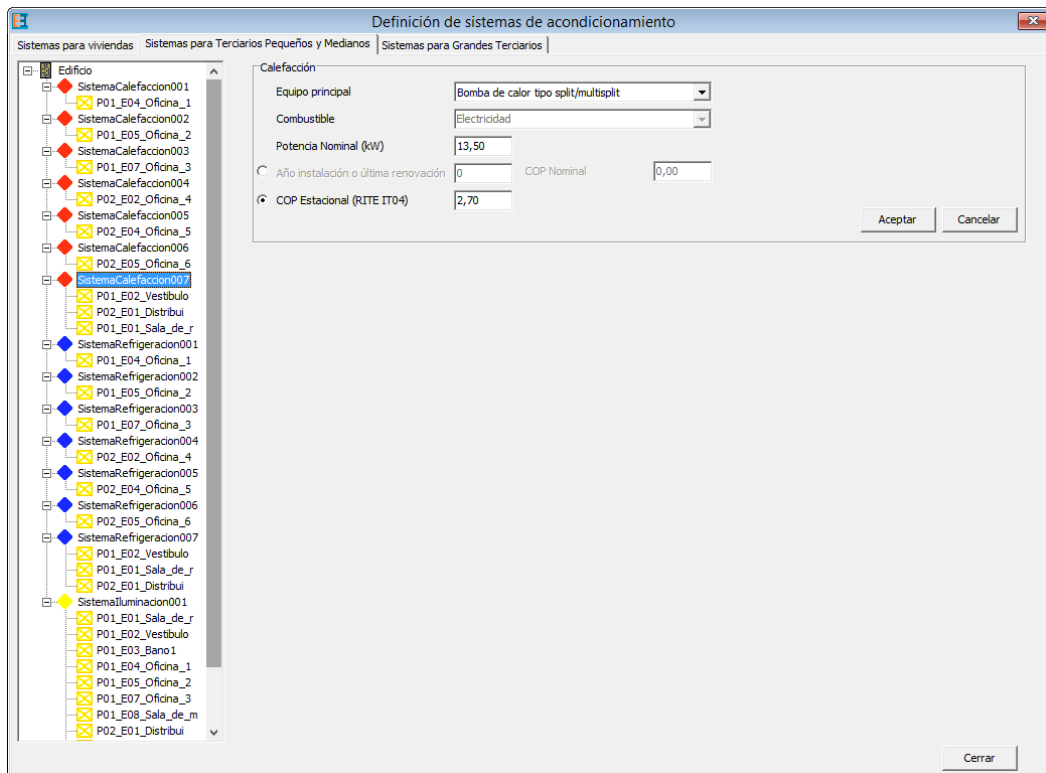


Figura V.32.- Ejemplo de introducción del sistema multisplit de calefacción del caso 12 en CE3.

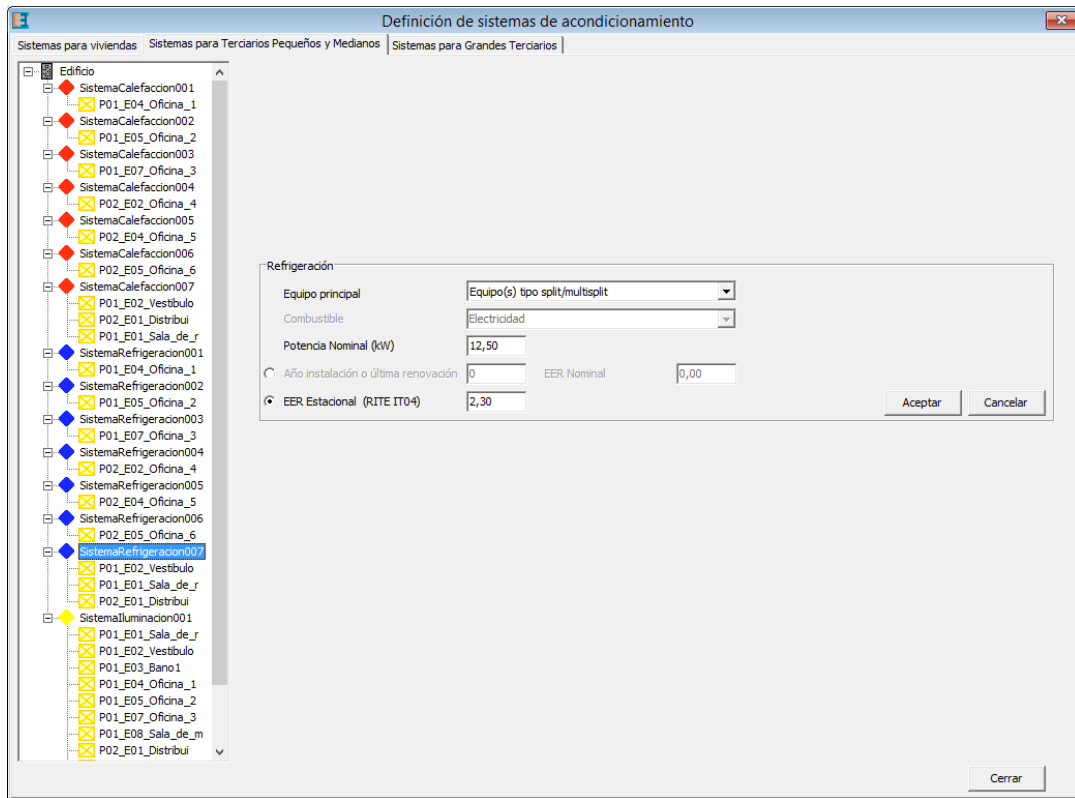


Figura V.33.- Ejemplo de introducción del sistema multisplit de refrigeración del caso 12 en CE3.

**Resultados**

Tabla V.35.- Indicadores obtenidos en el caso 12.

	Demanda (kWh/m <sup>2</sup> )					Consumo (kWh/m <sup>2</sup> )					Emisiones de CO <sub>2</sub> (kg/m <sup>2</sup> )				
	Calefacción	Refrigeración	Iluminación	TOTAL	Diferencia (%)	Calefacción	Refrigeración	Iluminación	TOTAL	Diferencia (%)	Calefacción	Refrigeración	Iluminación	TOTAL	Diferencia (%)
CYPE / E+	8,07	51,19		59,26		2,99	22,26		25,25		1,11	8,28		9,39	
CE3	75,07	35,94	4,54	111,01	87%	27,80	15,63	16,21	43,43	72%	18,04	10,14	10,52	28,18	200%

**Rendimiento medio estacional y factor de conversión**

Tabla V.36.- Rendimiento medio estacional y factor de conversión obtenidos en el caso 12.

	Rendimiento			Factor de conversión (kg CO <sub>2</sub> /kWh E. final)		
	Calefacción	Refrigeración	Iluminación	Calefacción	Refrigeración	Iluminación
CYPE / E+	2,70	2,30		0,37	0,37	0,37
CE3	2,70	2,30	0,28	0,65	0,65	0,65

### **Análisis de resultados del caso**

#### Demanda de energía

Al igual que en el caso anterior, la demanda y su análisis son idénticos a los del caso 10.

#### Consumo de energía

El consumo se ve modificado ya que, al aumentar el rendimiento medio estacional en refrigeración respecto del caso 11 y mantenerse el de calefacción, el consumo en refrigeración disminuye tanto en nuestro método de referencia como en CE3 y el de calefacción se mantiene constante.

Por tanto, la importancia relativa de la refrigeración baja y sube la de la calefacción, que aporta una diferencia en valores mayor. Debido a ello, el porcentaje de diferencia total aumenta hasta un 72 %.

#### Emisiones de CO<sub>2</sub>

Siendo el factor de conversión el mismo que en el caso 11 por ser el mismo tipo de energía, el aumento de la diferencia en términos porcentuales en consumo estudiada en el apartado anterior hace que aumente también dicha diferencia porcentual en emisiones, hasta un valor del 200 %.

#### Rendimiento medio estacional

Los rendimientos han sido fijados por los valores obtenidos en nuestra guía [1] usada en el método de referencia.

#### Factor de conversión

El análisis del factor de conversión es idéntico al de los casos 10 y 11.

### **V.3.4. Resumen de demandas, consumos y emisiones del edificio unifamiliar**

Se detallan las demandas, consumos y emisiones en la tabla V.37.

Tabla V.37.- Indicadores energéticos obtenidos en el edificio de oficinas.

Caso	Método	Demanda (kWh/m <sup>2</sup> )					Consumo (kWh/m <sup>2</sup> )					Emisiones de CO2 (kg/m <sup>2</sup> )				
		Calefacción	Refrigeración	Iluminación	TOTAL	Diferencia con E+ (%)	Calefacción	Refrigeración	Iluminación	TOTAL	Diferencia con E+ (%)	Calefacción	Refrigeración	Iluminación	TOTAL	Diferencia con E+ (%)
10	E+	8,07	51,19		59,26		10,22	30,11		40,33		2,57	11,20		13,78	
	CE3	75,07	35,94	4,54	111,01	87%	95,03	21,14	16,21	116,17	188%	19,39	13,72	10,52	33,11	140%
	CE3 - B	73,75	36,02	4,54	109,77	85%	93,35	21,19	16,21	114,54	184%	19,04	13,75	10,52	32,79	138%
11	E+	8,07	51,19		59,26		2,99	30,11		33,10		1,11	11,20		12,31	
	CE3	75,07	35,94	4,54	111,01	87%	27,80	21,14	16,21	48,94	48%	18,04	13,72	10,52	31,76	158%
12	E+	8,07	51,19		59,26		2,99	22,26		25,25		1,11	8,28		9,39	
	CE3	75,07	35,94	4,54	111,01	87%	27,80	15,63	16,21	43,43	72%	18,04	10,14	10,52	28,18	200%

## V.4. EDIFICIO UNIVERSITARIO (CASO 13)

### V.4.1. Definición de sistema en CYPE

El edificio se ha diseñado en CYPE teniendo en cuenta las composiciones de cerramientos de proyecto.

Según se describió en el capítulo III, el sistema consta de calefacción y refrigeración.

Estos sistemas se describen a continuación.



Figura V.34.- Imagen de edificio Aulario en CYPE.

#### Sistema de calefacción

Como ya se ha descrito, la sala de calderas se compone de dos calderas de gasóleo de 232 kW y de 191 kW respectivamente, que distribuye el agua de calefacción en 3 circuitos.

Las distintas zonas están calefactadas por una red de radiadores, según se detalla en las tablas III.18. y III.19.

Sin embargo, estos emisores no son capaces de compensar la carga térmica calculada según los usos y normativa actual.

Según esto, dichos emisores no podrían compensar la demanda de calefacción de cada espacio, ya que existen puntas de demanda, cargas térmicas, que no pueden aportar. La demanda capaz de cubrir los emisores de diseño, será aquella que funcione con una carga inferior o igual a la que puede dar el emisor y la caldera. Debido a que no se conoce la curva horaria de carga para poder integrarla por debajo del valor de potencia disponible y así obtener la demanda compensada para poder aplicarle un rendimiento a ésta y obtener el consumo, debemos diseñar un sistema que sí sea capaz de cubrir la carga térmica y, por tanto, aportar la demanda de calefacción anual del edificio. Gráficamente, se observa esta consideración conceptual en la figura V.35.

Se realiza el estudio de esta forma, y no como en los casos de suelo radiante en los que se asumía el error, dado que en este caso introduciremos el equipo eligiéndolo entre los existentes en el programa. Se reflejará el mismo sistema en los distintos programas y métodos.

El sistema de radiadores diseñado que se usará en el estudio viene compuesto por los emisores que se detallan en el Anexo II.

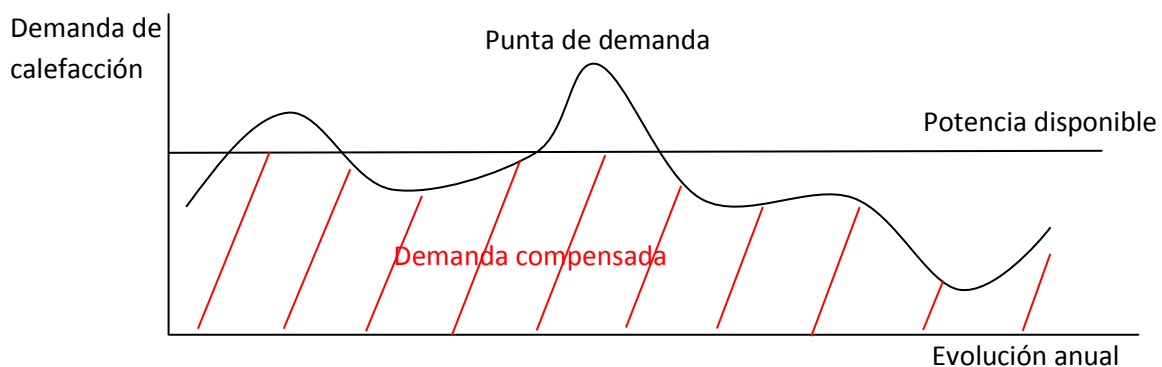


Figura V.35.- Descripción conceptual de demanda de calefacción compensada en el aula.

Los emisores son de los tipos:

Tipo 1: Radiador de aluminio inyectado, con una emisión calorífica de 135,8 kcal/h cada uno, según UNE-EN 442-1.



Tipo 2: Radiador de aluminio inyectado, con frontal plano, con una emisión calorífica de 74,7 kcal/h cada uno, según UNE-EN 442-1.

La potencia necesaria para cubrir la carga térmica no depende sólo de los emisores, sino que también debe ser aportada por las calderas de combustibles. No es posible, al igual que se explicó antes, cubrir la demanda anual con las calderas que existen en el edificio.

Siguiendo el mismo razonamiento utilizado para los emisores, se procede al dimensionamiento de una caldera que cubra la demanda y replicar en el procedimiento simplificado para su comparación en resultados.

Se ubica una caldera de pie, de baja temperatura, con cuerpo de chapa de acero, gran aislamiento térmico y puerta frontal, para quemador presurizado de gasóleo o gas, construcción compacta, "BUDERUS" Logano SK755 con potencia nominal de 500 kW.

#### **Sistema de refrigeración**

En el proyecto original no existía sistema de refrigeración. Con posterioridad, se añadieron los equipos detallados en el capítulo III.

Al igual que en el caso anterior, estos equipos no cumplen con la carga de refrigeración de los espacios dónde existen. Los espacios donde están presentes son algunas aulas y sala de estudio de la planta primera. En CYPE no podemos definir unas aulas como climatizadas (incluyendo refrigeración) y otras como sólo calefactadas. Debido a esto, se deberían replicar los tipos de espacios de aulas y dar un tratamiento distinto a unas aulas respecto de otras en cuanto a estar climatizadas o sólo calefactadas.

Por otro lado, este edificio posee un uso preferente en invierno.

Se opta por eliminar el sistema de refrigeración presente, dados los motivos anteriores, y para poder establecer una comparativa con el cálculo del procedimiento simplificado en ausencia de sistema de refrigeración para uso terciario, estudio no llevado a cabo en los distintos casos del edificio de oficinas.

Por tanto, no se introduce sistema de refrigeración.

#### **V.4.2. Introducción de sistemas en CE3**

Los usos o actividades de cada espacio se han definido en un entorno de 16h con mayor o menor intensidad dependiendo del espacio.

Se debe recordar que los rendimientos de los sistemas ausentes en cada caso, se obtienen del DB-HE0 en su punto 4.3. Cuando no se definan en proyecto equipos para un servicio de climatización se considerarán las eficiencias de los sistemas de referencia, que se indican en la tabla 2.2 de dicho apartado, en ella dice que la producción de frío será con electricidad y rendimiento de 2, y la de calor con gas natural y rendimiento de 0,9.

La iluminación en CE3 se estima según la norma EN 12464-1:2002 (ver tabla III.21.)

Se ha introducido el sistema como sistema seleccionado dentro de los existentes en CE3. El diseño en CE3 se compone de la elección de un sistema de generación, uno secundario, su interconexión y la iluminación. Se han despreciado las pérdidas en la distribución.

Las condiciones operacionales, en cuanto a cargas internas de ocupación, de iluminación y de equipos, así como de ventilación, se han introducidos con valores idénticos en CE3 y CYPE, con objeto de eliminar diferencias en los resultados debidas a tener valores distintos en este campo.

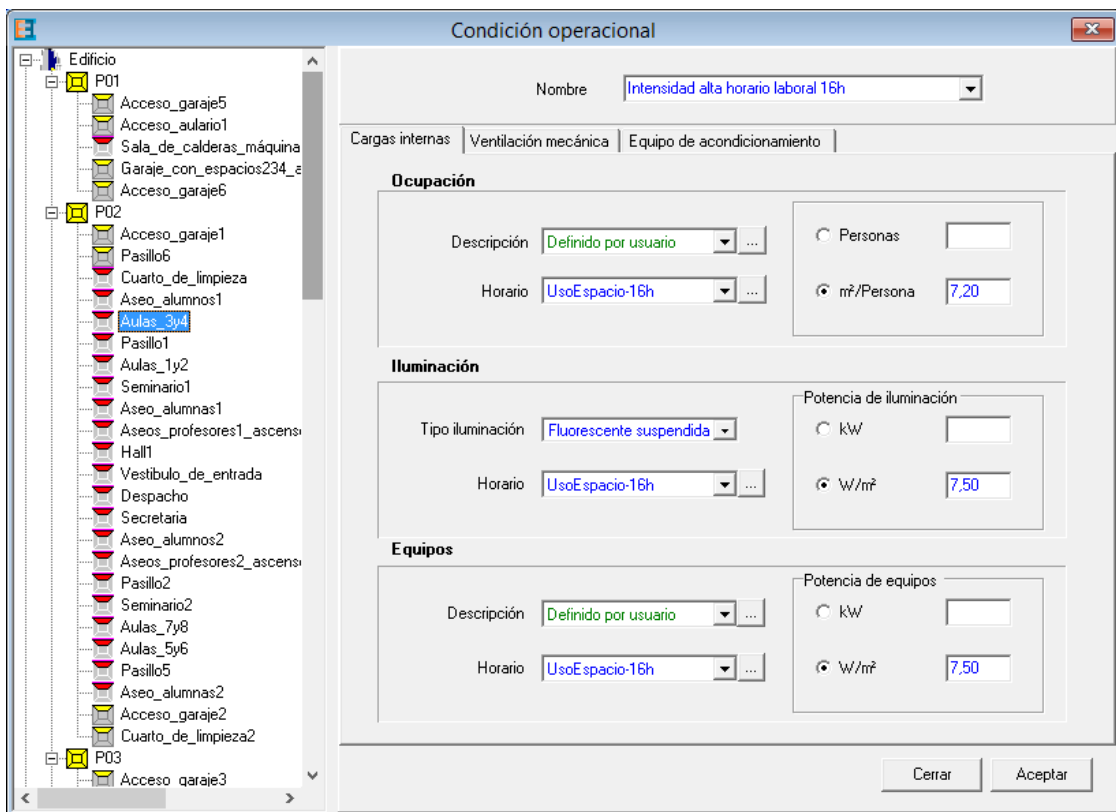


Figura V.36.- Introducción de condiciones operacionales del caso 13 en CE3.

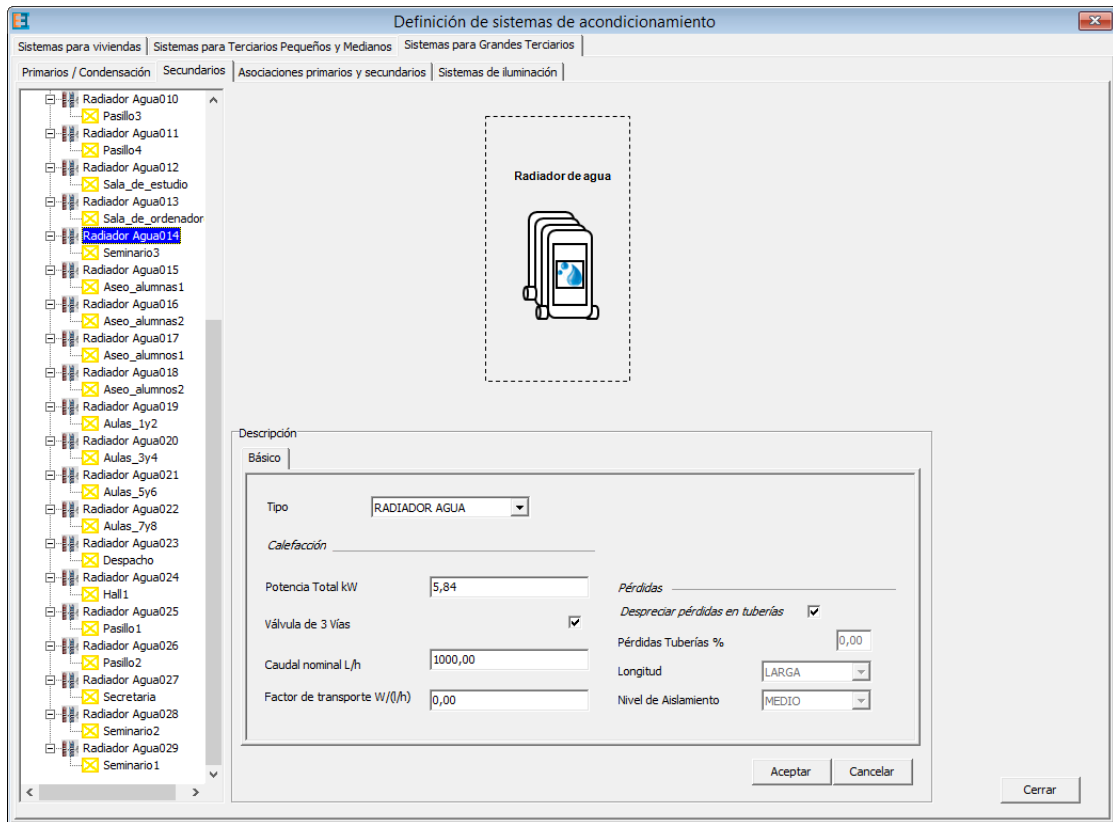


Figura V.37.- Introducción de sistemas del caso 13 en CE3.

### V.4.3. Resultados

Tabla V.38.- Indicadores obtenidos en el caso 13.

	Demanda (kWh/m <sup>2</sup> )					Consumo (kWh/m <sup>2</sup> )					Emisiones de CO <sub>2</sub> (kg/m <sup>2</sup> )				
	Calefacción	Refrigeración	Iluminación	TOTAL	Diferencia (%)	Calefacción	Refrigeración	Iluminación	TOTAL	Diferencia (%)	Calefacción	Refrigeración	Iluminación	TOTAL	Diferencia (%)
CYPE / E+	78,32	27,67		105,99		99,14	13,84		112,97		28,45	5,15		33,60	
CE3	53,88	20,57	12,02	74,45	-30%	62,58	0,00	18,56	62,58	-45%	18,13	0,00	12,05	18,13	-46%

### V.4.4. Rendimiento medio estacional y factor de conversión

Tabla V.39.- Rendimiento medio estacional y factor de conversión obtenidos en el caso 13.

	Rendimiento			Factor de conversión (kg CO <sub>2</sub> /kWh E. final)		
	Calefacción	Refrigeración	Iluminación	Calefacción	Refrigeración	Iluminación
CYPE / E+	0,79	2,00		0,29	0,29	0,29
CE3	0,86	0,00	0,65	0,29	0,00	0,65

#### V.4.5. Análisis de resultados del caso

##### *Demanda de energía*

En este caso, a diferencia de todos los estudiados hasta ahora, la demanda calculada por CE3 es menor que la calculada por nuestro método de referencia (un 30 %).

La diferencia es del mismo orden en calefacción y refrigeración.

##### *Consumo de energía*

El consumo ve aumentada la diferencia porcentual hasta un valor del 46%, debido a:

- Ausencia de consumo de refrigeración en CE3: se puede observar que en CE3, en ausencia de sistema de refrigeración, no supone la existencia de un sistema con rendimiento 1,7 y energía eléctrica, según se recoge en el CTE [4], sino que supone un consumo nulo.
- Aumento de diferencia en consumo de calefacción desde un 31 % a un 37 % debido al uso de un rendimiento distinto.

##### *Emisiones de CO<sub>2</sub>*

Dada el valor obtenido de consumo nulo en refrigeración, no posee tampoco emisiones de este sistema.

En el total, compuesto solamente en este caso por el sistema de calefacción, las emisiones son mayores en nuestro método de referencia que en CE3, con una diferencia porcentual similar a la del consumo dado su idéntico factor de conversión.

##### *Rendimiento medio estacional*

El rendimiento medio tomado en nuestro método de referencia en calefacción es similar al tomado por CE3.

Sin embargo, dado que supone un consumo nulo en refrigeración, no existirá rendimiento en este sistema.

##### *Factor de conversión*

Los factores de conversión, que en este caso se aplican a calefacción únicamente, son idénticos.

En iluminación, sin influir en nuestro valor total tomados, posee un comportamiento similar al del resto de edificios, con uso de un factor diferente al de nuestro método de referencia.

## V.5. FICHEROS DE DATOS CLIMATOLÓGICOS

Vistos los resultados de cada caso, y revisada la posible influencia en el caso 10 de la introducción correcta de las condiciones operacionales y de las características térmicas de la envolvente en cuanto a transmitancia y densidad superficial, se plantea en este punto el estudio de la posible desviación en los resultados debido al uso de distintos ficheros climatológicos.

Los ficheros en EnergyPlus se han obtenido de la propia web del programa en formato \*.epw, mientras que los ficheros usados por los procedimientos simplificados son, como exige el documento “Condiciones de aceptación de métodos alternativos a LIDER Y CALENER – Anexos” [6], ficheros en formato \*.met.

Se estudia el resultado obtenido para el caso 10 (oficinas con radiadores y máquina frigorífica), caso más desfavorable en cuanto a diferencia en demanda, mediante el uso de los datos climatológicos del fichero \*.met de la localidad correspondiente en EnergyPlus.

### V.5.1. Ficheros \*.met

Los ficheros met se pueden descargar de la web del Ministerio de Industria, Energía y Turismo [w-1]. Reflejan las condiciones meteorológicas de las capitales de provincia, con un estudio representativo del comportamiento, usualmente basado en las 8.760 horas que posee un año.

Según se describe en el “Documento descriptivo climas de referencia” del Ministerio de Fomento [7], en su punto 3.1., la estructura de estos ficheros es la siguiente:

1. Primera línea con una cadena de texto identificativa del archivo de datos.
2. Segunda línea con datos de: latitud, longitud, altitud y longitud de referencia para el cálculo de la hora oficial.
3. Siguen 8.760 líneas con datos horarios formados por los campos siguientes:
  - a) Mes (1 a 12);
  - b) Día (1 a 31);
  - c) Hora (1 a 24);
  - d) Temperatura seca (°C);
  - e) Temperatura efectiva del cielo (°C);
  - f) Irradiancia solar directa sobre una superficie horizontal (W/m<sup>2</sup>);
  - g) Irradiancia solar difusa sobre una superficie horizontal (W/m<sup>2</sup>);
  - h) Humedad específica (kg H<sub>2</sub>O/kg aire seco);

- i) Humedad relativa (%);
- j) Velocidad del viento (m/s);
- k) Dirección del viento (grados respecto al norte, E+, O-);
- l) Azimut solar (grados);
- m) Cénit solar (grados).

En el punto 3.2. de dicho documento, se establecen como determinantes del comportamiento climático los siguientes elementos:

- a) temperatura seca (°C);
- b) humedad relativa (%);
- c) Irradiancia solar global sobre plano horizontal (W/m<sup>2</sup>): suma de las irradiancias directa y difusa sobre plano horizontal.

En el punto 3.3., se especifica que el resto de parámetros pueden ser tomados de los ficheros \*.met o de correlaciones de validez contrastadas. En dicho punto se sugieren las siguientes simplificaciones:

- a) la temperatura no perturbada del suelo profundo puede tomarse igual a la temperatura seca media anual del aire;
- b) la presión atmosférica puede tomarse igual a 1 atm (101,325 kPa);
- c) la velocidad media del viento puede tomarse igual a 2,8 m/s.

#### V.5.2. Ficheros \*.epw

Los ficheros \*.epw usados en EnergyPlus, poseen la siguiente estructura:

Línea 1	Ubicación (ciudad, provincia, región, estado, país, fuente de datos, número de la Organización Mundial Meteorológica, latitud, longitud, zona horaria, elevación)
Línea 2	Condiciones de diseño
Línea 3	Períodos típicos y extremos
Línea 4	Temperaturas de suelo
Línea 5	Períodos de horario de verano y vacaciones
Línea 6	Comentarios
Línea 7	Paso/salto de iteración temporal de periodos
Línea 8	Paso/salto de iteración temporal (año, mes, día, hora, minuto), Fuente de datos e incertidumbres
Siguientes 8760 líneas	Tiempo, temperatura de bulbo seco, temperatura de punto de rocío, humedad relativa, presión atmosférica, radiación (horizontal extra-terrestre, extra-terrestre normal directa, radiación horizontal infrarroja del cielo, global horizontal, directa normal, difuso horizontal), iluminancia (global Horizontal, directa normal, difusa horizontal, Zenith de luminancia), viento (dirección, velocidad), nubosidad del cielo (total, opaco, visibilidad, altura de techo), clima actual (observación, códigos), agua de precipitación, profundidad óptica de aerosol, nieve (profundidad, días desde última nevada).

Si bien los datos climatológicos de los ficheros \*.epw de la web de EnergyPlus han sido también proporcionados por investigadores de la Universidad de Sevilla, que a su vez desarrollaron CALENER, se procede a la sustitución de los datos de las siguientes columnas en el fichero \*.epw de Málaga de la web de EnergyPlus, por los presentes en el fichero \*.met:

- a) temperatura seca (°C);
- b) humedad relativa (%);
- c) Irradiancia solar global sobre plano horizontal.

A su vez, analizado el fichero \*.epw original, se observa que se ha calculado con una velocidad del viento de 6,7 m/s. Dada la diferencia con el valor recomendado (2,8 m/s), se sustituye también este parámetro.

### V.5.3. Resultados obtenidos

El cálculo de CYPE, usando EnergyPlus como motor de cálculo, da el siguiente resultado:

Tabla V.40.- Comparación de resultados obtenidos con fichero \*.epw original y modificado.

	Demanda (kWh/m <sup>2</sup> )	
	Calefacción	Refrigeración
Oficina (caso 10) con fichero de datos climáticos *.epw original	8,07	51,19
Oficina (caso 10) con fichero de datos climáticos *.epw modificado	8,45	53,76

Se concluye que el efecto en los resultados del uso de los datos climáticos seleccionados no es relevante.

## V.6. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Dados los anteriores resultados obtenidos en cada caso, expuestos según los indicadores elegidos previamente, se analizan en este apartado las diferencias en los resultados obtenidos según el procedimiento.

Se procede a sacar conclusiones generales en conjunto según el procedimiento utilizado y no del caso de forma individual, según se ha hecho en apartados anteriores.

### V.6.1. CERMA

La comparación en CERMA se refiere, dado que es procedimiento simplificado reconocido por el Ministerio de Industria, Energía y Turismo sólo para certificación de edificios de viviendas, a los resultados obtenidos para el caso del unifamiliar.

Se estudiarán tanto los indicadores de referencia elegidos, como aquellos parámetros que proporcione información sobre los métodos por los que se llega a un resultado diferente al del procedimiento de referencia.

Se nombrarán los casos según se detalla en la siguiente tabla. Estos casos son aquellos que, dentro de los planteados en esta tesis, ha sido posible realizar su simulación.

Tabla V.41.- Nomenclatura de casos estudiados con CERMA de la tesis.

Edificio	Caso
<b>Unifamiliar</b>	
<b>Calefacción</b>	
Radiadores	1
Suelo radiante - multizona	2A
Suelo radiante - rendimiento medio estacional	2B
BC + fancoils	3
<b>Refrigeración</b>	
Splits	4
BC + fancoils	5
Suelo refrescante	6
<b>Climatización</b>	
Radiadores + splits	7
Suelo radiante y refrescante	8
BC + fancoils	9

**Comparación de demanda**

En la tabla V.42. se puede observar la diferencia entre los valores obtenidos para el unifamiliar en cuanto a demandas energéticas del edificio.

Tabla V.42.- Comparación de valores de demanda (kWh/m<sup>2</sup>) en unifamiliar de EnergyPlus frente a CERMA.

Caso	CYPE / ENERGY PLUS				CERMA				Diferencia %
	Calefacción	Refrigeración	ACS	TOTAL	Calefacción	Refrigeración	ACS	TOTAL	
1	33,23	32,89	14,60	80,72	60,30	30,40	20,30	111,00	38%
2A	32,04	40,07	14,60	86,71	59,70	30,60	20,30	110,60	28%
2B	32,04	40,07	14,60	86,71	59,70	30,60	20,30	110,60	28%
3	33,23	32,89	14,60	80,72	60,30	30,40	20,30	111,00	38%
4	33,23	32,89	14,60	80,72	60,30	30,40	20,30	111,00	38%
5	33,23	32,89	14,60	80,72	60,30	30,40	20,30	111,00	38%
6	31,24	43,72	14,60	89,56	59,10	30,80	20,30	110,20	23%
7	33,23	32,89	14,60	80,72	60,30	30,40	20,30	111,00	38%
8	31,24	43,72	14,60	89,56	59,10	30,80	20,30	110,20	23%
9	33,23	32,89	14,60	80,72	60,30	30,40	20,30	111,00	38%



En dicha tabla se ha introducido el valor de ACS que, como ya se ha descrito, en el método de referencia no se obtiene mediante EnergyPlus y siempre aporta un valor constante.

#### Resultado global

Podemos concluir que existe una diferencia uniforme entre el 23% y el 38% según el caso. Se observan 3 valores:

- En el caso de que haya suelo refrescante (casos 6 y 8) el valor de la diferencia respecto del método de referencia es del 23 %.
- En los casos de suelo radiante (casos 2A y 2B) el valor es del 28 %.
- En los demás casos es del 38 %.

Esta variación se corresponde con la variación en la composición del “Suelo en contacto con el terreno”. Cuanto menor es la transmitancia de dicho elemento, se observa una menor diferencia en el valor total de la demanda calculada.

#### Diferencia en valores de calefacción

Como era de esperar dadas sus distintas composiciones, las demandas de calefacción en cada programa tendrán valores idénticos agrupados en los mismos grupos que la demanda total (casos de suelo refrescante 6 y 8, casos de suelo radiante 2A y 2B y resto de casos).

En el caso más común, los programas nos proporcionan resultados muy distintos: en 6 casos de los estudiados la diferencia es casi del 100 % (60,30 kWh/m<sup>2</sup> frente a 33,23 kWh/m<sup>2</sup>).

#### Diferencia en valores de refrigeración

Los valores calculados en EnergyPlus y en CERMA en refrigeración, son del mismo orden de magnitud. El valor más usual en CERMA es de 30,40 kWh/m<sup>2</sup> frente a su correspondiente 32,89 kWh/m<sup>2</sup>, lo cual supone una diferencia inferior al 8 %.

Al igual que antes, como era de esperar, dadas sus distintas composiciones, las demandas de refrigeración en cada programa tendrán valores idénticos agrupados en los mismos grupos que la demanda total (casos de suelo refrescante 6 y 8, casos de suelo radiante 2A y 2B y resto de casos). En estos casos, aumenta la demanda de refrigeración en nuestro método de referencia, viéndose afectada en menor medida en CERMA.

### Comparación de emisiones

Dado que CERMA no aporta resultados de consumos en la pantalla principal de resultados, sino de emisiones en kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>, se comparan los resultados obtenidos en emisiones directamente.

Tabla V.43.- Comparación de valores de emisiones (kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>) en unifamiliar de EnergyPlus y CERMA.

Caso	CYPE / ENERGY PLUS				CERMA				Diferencia
	Calefacción	Refrigeración	ACS	TOTAL	Calefacción	Refrigeración	ACS	TOTAL	%
1	12,36	6,12	6,17	24,65	39,40	11,60	13,30	63,80	159%
2A	12,29	7,45	6,17	25,91	39,80	11,70	13,30	64,80	150%
2B	12,29	7,45	6,17	25,91	39,90	11,70	13,30	65,00	151%
3	4,58	5,32	6,17	16,07	14,90	9,00	13,30	37,20	131%
4	4,58	5,32	6,17	16,07	14,90	9,00	13,30	37,20	131%
5	9,10	7,20	6,17	22,47	23,10	11,60	13,30	48,00	114%
6	8,56	9,57	6,17	24,30	22,60	11,70	13,30	47,70	96%
7	8,47	5,32	6,17	19,96	18,80	9,00	13,30	41,20	106%
8	4,30	9,57	6,17	20,04	14,20	11,70	13,30	39,30	96%
9	4,58	7,20	6,17	17,95	14,50	11,60	13,30	39,40	120%

En este caso, idénticamente al caso de la demanda, la variación es uniforme, pero mucho más elevada.

Mientras que en la demanda la diferencia se debía principalmente a la calefacción, en el caso de emisiones es debido a calefacción, refrigeración y ACS, aunque sigue siendo el mayor aporte en la diferencia del valor de la calefacción.

Adicionalmente aparecen los efectos de las variaciones de los valores usados respecto del método de referencia en rendimientos medios estacionales y factores de conversión, que se añaden a una demanda calculada que ya es distinta según el método.

### Rendimiento medio estacional y factor de conversión

Los rendimientos medios estacionales han sido obtenidos en cada caso de la pantalla de resultados.

Se plantea sólo la comparación en calefacción y refrigeración en la siguiente tabla.

Tabla V.44.- Factor de conversión (kg CO<sub>2</sub>/kWh) y rendimiento medio estacional en EnergyPlus y CERMA.

Caso	CYPE / ENERGYPLUS				CERMA			
	Factor de conversión (kg CO <sub>2</sub> /kWh E. final)		Rendimiento medio estacional		Rendimiento medio estacional		Factor de conversión (kg CO <sub>2</sub> /kWh E. final)	
	Calefacción	Refrigeración	Calefacción	Refrigeración	Calefacción	Refrigeración	Calefacción	Refrigeración
1	0,372	0,372	1,00	2,00	0,99	1,70	0,65	0,76
2A	0,372	0,372	0,97	2,00	0,96	1,70	0,65	0,76
2B	0,372	0,372	0,97	2,00	0,97	1,70	0,65	0,76
3	0,372	0,372	2,70	2,30	2,70	1,70	0,67	0,68
4	0,372	0,372	2,70	2,30	3,00	2,40	0,67	0,68
5	0,252	0,372	0,92	1,70	0,75	1,70	0,35	0,65
6	0,252	0,372	0,92	1,70	0,75	1,70	0,35	0,65
7	0,372	0,372	1,46	2,30	2,08	2,40	0,46	0,68
8	0,372	0,372	2,70	1,70	2,70	1,70	0,65	0,65
9	0,372	0,372	2,70	1,70	2,70	1,70	0,65	0,65

En la anterior tabla, los valores de rendimientos obtenidos en CERMA en los casos 1 (radiadores), 2A (suelo radiante – multizona), 4 (splits) y 7 (radiadores y splits), son aportados por el propio programa al ser los sistemas introducidos entre los existentes en él. En el resto de casos, el rendimiento es aportado como rendimiento medio estacional conocido de valor idéntico al del método de referencia, imponiendo dicho rendimiento en el procedimiento simplificado.

Se observa una similitud entre los rendimientos tomados en los casos 1 (radiadores), 2A (suelo radiante – multizona) y 4 (splits). No así en el cálculo de la calefacción del sistema mixto de radiadores y splits usado del caso 7, que posee un valor mayor de un orden cercano al 30 %.

Exceptuaremos el ACS, puesto que en todos los casos se ha introducido en CERMA como un sistema idéntico de ACS. El rendimiento calculado por el programa CERMA es de 0,99, frente al 0,88 de los valores tabulados en el método de referencia.

En todos los casos anteriores, la energía utilizada para calefacción y refrigeración es la misma, eléctrica (salvo en los casos 5 de máquina frigorífica con fancoils y 6 de suelo refrescante en la parte de calefacción que en ausencia de sistema, según el CTE, se calcula con gas natural). Debido a ello, el factor de conversión debería ser siempre el mismo en CERMA. Esto no ocurre, pues se observa que si bien el valor más extendido es 0,65, existen variaciones respecto de él en 5 casos en calefacción (en los casos 5 y 6 justificado) y 6 en refrigeración. Todos deberían tener igual valor de factor de conversión excepción hecha en calefacción de los casos 5 y 6, donde debe ser gas natural.

CERMA usa unos rendimientos medios estacionales en ausencia de sistema de refrigeración de 1,70 y como energía primaria la electricidad, coincidiendo en el tipo de energía pero no en el valor aportado por el DB HE 0 en su punto 4.3., que da un valor de 2. Idénticamente ocurre con la calefacción, donde en ausencia de sistema de este tipo toman un rendimiento en CERMA de 0,75 frente al 0,92 definido en el DB HE0. En el caso de calefacción además en CERMA se toma gasóleo C y en el DB HE0 gas natural. Por tanto, el factor de corrección usado por CERMA, dado que el tipo de energía es distinto que el estipulado en el CTE actual, no está adaptado a éste. Estos diferentes criterios utilizados para la misma aplicación, aunque son coherentes con los resultados y la normativa actual, impiden que coincidan los resultados obtenidos por los programas en el apartado de emisiones de CO<sub>2</sub>.

El valor usual obtenido 0,65, es un 35% superior al tomado de 0,372, en el método de referencia. Los valores de referencia utilizados son tomados de “Factores de emisión de CO<sub>2</sub> y coeficientes de paso a energía primaria de diferentes fuentes de energía final consumidas en el sector edificios en España” del 03/03/2014 publicado por IDAE [5].

### V.6.2. CE3

La comparación entre los resultados obtenidos en CE3 y los obtenidos con nuestro método de referencia se refiere a los casos de la tabla V.45.

Tabla V.45.- Nomenclatura de casos estudiados en resultados de CE3 de la tesis.

Edificio	Caso
<b>Unifamiliar</b>	
Calefacción	
Radiadores - sistema en CE3	1A
Radiadores - rendimiento medio estacional CE3	1B
Suelo radiante – rendimiento medio estacional conocido	2
BC + fancoils	3
Refrigeración	
Splits	4
BC + fancoils	5
Suelo refrescante	6
Radiadores + splits	7
Suelo radiante y refrescante	8
BC + fancoils	9
Oficinas	
Sistema de agua en calefacción y sistema aire-agua en refrigeración	10
Sistema aire-agua en calefacción y refrigeración	11
Unidad de aire acondicionado con sistema multisplit	12
Aulario universitario – Calefacción por radiadores	13

### Comparación de demanda

En la tabla V.46. se puede observar la diferencia entre los valores obtenidos en cuanto a demandas energéticas del edificio.

Tabla V.46.- Comparación de valores de demanda (kWh/m<sup>2</sup>) de EnergyPlus frente a CE3.

CASO	CYPE / ENERGY PLUS				CE3				Diferencia %
	Calefacción	Refrigeración	ACS	TOTAL	Calefacción	Refrigeración	ACS	TOTAL	
1A	33,23	32,89	14,60	80,72	64,26	43,36	16,75	124,37	54%
1B	33,23	32,89	14,60	80,72	64,26	43,36	16,75	124,37	54%
2	32,04	40,07	14,60	86,71	60,81	44,28	16,75	121,84	41%
3	33,23	32,89	14,60	80,72	64,26	43,36	16,75	124,37	54%
4	33,23	32,89	14,60	80,72	64,26	43,36	16,75	124,37	54%
5	33,23	32,89	14,60	80,72	64,26	43,36	16,75	124,37	54%
6	31,24	43,72	14,60	89,56	60,21	43,67	16,75	120,63	35%
7	33,23	32,89	14,60	80,72	64,26	43,36	16,75	124,37	54%
8	31,24	43,72	14,60	89,56	60,21	43,67	16,75	120,63	35%
9	33,23	32,89	14,60	80,72	64,26	43,36	16,75	124,37	54%
CASO	Calefacción	Refrigeración	Iluminación	TOTAL	Calefacción	Refrigeración	Iluminación	TOTAL	%
10	8,07	51,19		59,26	75,07	35,94	4,54	111,01	87%
11	8,07	51,19		59,26	75,07	35,94	4,54	111,01	87%
12	8,07	51,19		59,26	75,07	35,94	4,54	111,01	87%
13	78,32	27,67		105,99	53,88	20,57	12,02	74,45	-30%

En dicha tabla se ha introducido el valor de ACS para los casos de unifamiliar que, como ya se describió en el apartado anterior, en el caso del método de referencia no se obtiene mediante EnergyPlus. En los casos de edificios terciarios se introduce la iluminación, que idénticamente, no la calcula EnergyPlus con el uso de CYPE. En la tabla el valor "TOTAL" en CE3 no incluye la iluminación.

Se observa un comportamiento desigual en los casos 1 a 9 (unifamiliar, de los cuales los casos 1A a 3 son de calefacción, 4 a 6 de refrigeración y 7 a 9 de climatización), 10, 11 y 12 (de climatización pequeño y mediano terciario) y caso 13 (climatización de gran terciario).

Este comportamiento se estudia en los próximos apartados.

#### Residencial: unifamiliar (casos 1 a 9)

Se observa un valor de "Diferencia" mayor entre el uso de CE3 y del método de referencia que el calculado en CERMA. Este aumento es debido principalmente al aumento del valor de la demanda de refrigeración (aumenta en cantidades de casi un 50% respecto de CERMA), en mayor proporción que el de calefacción (que aumenta en un % inferior al 10% respecto de la demanda obtenida en CERMA).

Obviando el análisis con respecto a CERMA, el análisis respecto del método de referencia arroja diferencias elevadas. En general, salvo casos de suelo radiante o refrescante en que la composición del suelo en contacto con el terreno varía y disminuye su transmitancia, se obtiene una diferencia del 54 %. Al igual que en CERMA, al disminuir la transmitancia, disminuye la diferencia ente los valores obtenidos con CE3 y el EnergyPlus.

A su vez, es mayor la diferencia del valor de la demanda obtenida en calefacción respecto de la de EnergyPlus que en refrigeración, ya que en calefacción se obtienen diferencias del orden del 93 % mientras que en refrigeración son del orden del 32 %.

#### Pequeño y medio terciario: oficinas (casos 10 a 12)

En el pequeño y mediano terciario se produce un aumento de la diferencia total, como consecuencia de un aumento superior al 900 % de la demanda de calefacción calculada en EnergyPlus. Sin embargo, la demanda de refrigeración baja, pero en menor medida, en torno a un 30 %.

Es, de todos los resultados obtenidos, la mayor discrepancia existente en esta tesis: la demanda de calefacción en pequeños y medianos terciarios estimada con CE3.

Dado que no hay variación en cerramientos ni perfiles de uso, no existen diferencias entre los 3 casos en cuanto a la demanda.

#### Gran terciario: aulario universitario (caso 13)

En el gran terciario, en contra de los resultados obtenidos en los casos analizados anteriormente, proporciona menores demandas de calefacción y refrigeración con CE3 que con el método de referencia. La demanda total resulta ser un 30 % superior en el método de referencia, con demandas de calefacción que disminuyen en CE3 en torno al 31 % de calefacción y del 26 % en refrigeración.

### **Comparación de consumos**

En la siguiente tabla V.47. se comparan los resultados obtenidos con CYPE con EnergyPlus y el procedimiento simplificado CE3.

Como en el apartado anterior, en la columna TOTAL en casos de terciarios, no se suma la iluminación.

Tabla V.47.- Comparación de valores de consumo (kWh/m<sup>2</sup>) de EnergyPlus frente a CE3.

CASO	CYPE / ENERGYPLUS				CE3				Diferencia %
	Calefacción	Refrigeración	ACS	TOTAL	Calefacción	Refrigeración	ACS	TOTAL	
1A	33,23	16,45	16,59	66,27	114,83	17,99	16,92	149,74	126%
1B	33,23	16,45	16,59	66,27	64,26	17,99	16,92	99,17	50%
2	33,03	20,04	16,59	69,66	62,69	18,37	16,92	97,98	41%
3	12,31	16,45	16,59	45,34	23,80	17,99	16,92	58,71	29%
4	12,31	14,30	16,59	43,20	40,29	18,40	16,92	75,61	75%
5	36,12	19,35	16,59	72,06	85,67	25,51	16,92	128,10	78%
6	33,96	25,72	16,59	76,27	80,28	25,69	16,92	122,89	61%
7	22,76	14,30	16,59	53,65	46,38	18,40	16,92	81,70	52%
8	11,57	25,72	16,59	53,88	22,30	25,69	16,92	64,91	20%
9	12,31	19,35	16,59	48,25	23,80	25,51	16,92	66,23	37%
CASO	Calefacción	Refrigeración	Iluminación	TOTAL	Calefacción	Refrigeración	Iluminación	TOTAL	%
10	10,22	30,11		40,33	95,03	21,14	16,21	116,17	188%
11	2,99	30,11		33,10	27,80	21,14	16,21	48,94	48%
12	2,99	22,26		25,25	27,80	15,63	16,21	43,43	72%
13	99,14	13,84		112,97	62,58	0,00	18,56	62,58	-45%

Residencial: unifamiliar (casos 1 a 9)

El valor del caso 1A (calefacción con radiadores) es muy elevado en comparación con el resto de casos y con la propia demanda calculada por el método de referencia.

No existe uniformidad en los valores obtenidos como “Diferencia” para los casos estudiados en el unifamiliar, ni siquiera entre los casos con sólo sistemas de calefacción, solo refrigeración o con climatización: el valor oscila entre el 18 y el 78 % (con la salvedad hecha del caso 1A).

La mayor diferencia se da en calefacción, ya que mientras en refrigeración hay una diferencia de valor inferior al 25 % y en algunos casos es incluso menor en CE3, en calefacción en la mayoría de casos aumenta por encima del 100 %.

Pequeño y medio terciario: oficinas (casos 10 a 12)

Se observan 2 tendencias distintas en cuanto a calefacción:

- En el caso 10 (radiadores en calefacción y fancoils en refrigeración) hay una diferencia importante en los valores obtenidos, respecto de los casos 11 (fancoils) y 12 (multisplit), principalmente debido al gran aumento del valor de calefacción. Se ha de mencionar, que es el único caso en edificios del tipo pequeño y mediano terciario en que, como en el unifamiliar del caso 1, se ha usado radiadores.

Además en este caso es también el único en que se ha usado una caldera de gas natural.

- En los casos 11 y 12 existen valores superiores en un 45 % de diferencia total, debido al gran aumento del valor de consumo de calefacción respecto del método de referencia.

En general podemos decir que hay una gran diferencia en los resultados obtenidos por ambos métodos en consumo de calefacción, como era de esperar calculadas tras ver las demandas de estos casos.

En refrigeración hay una disminución del consumo en torno al 30 % en todos los casos.

#### Gran terciario: aulario universitario (caso 13)

Se puede resumir las características principales de los resultados obtenidos como:

- Disminución del consumo de calefacción en un 37 %.
- Dada la ausencia de sistema de refrigeración, no existe dicho consumo en CE3. Se concluye que este programa no está adaptado a la última versión de CTE en la cual debería tener fijado un rendimiento medio estacional de 2 como se explicó previamente para el caso de ausencia de sistemas de refrigeración (según DB HE0 en su apartado 4.3.) [4].

#### **Rendimiento medio estacional**

Se han obtenido los rendimientos medios estacionales según se detalla en el apartado V.1.



Tabla V.48.- Comparación de valores de rendimiento medio estacional tabulados con los obtenidos en CE3.

CASO	CYPE / ENERGYPLUS			CE3		
	Calefacción	Refrigeración	ACS	Calefacción	Refrigeración	ACS
1A	1,00	2,00	0,88	0,56	2,41	0,99
1B	1,00	2,00	0,88	1,00	2,41	0,99
2	0,97	2,00	0,88	0,97	2,41	0,99
3	2,70	2,00	0,88	2,70	2,41	0,99
4	2,70	2,30	0,88	1,59	2,36	0,99
5	0,92	1,70	0,88	0,75	1,70	0,99
6	0,92	1,70	0,88	0,75	1,70	0,99
7	1,46	2,30	0,88	1,39	2,36	0,99
8	2,70	1,70	0,88	2,70	1,70	0,99
9	2,70	1,70	0,88	2,70	1,70	0,99
CASO	Calefacción	Refrigeración	Iluminación	Calefacción	Refrigeración	Iluminación
10	0,79	1,70		0,79	1,70	0,28
11	2,70	1,70		2,70	1,70	0,28
12	2,70	2,30		2,70	2,30	0,28
13	0,79	2,00		0,86	0,00	0,65

Residencial: unifamiliar (casos 1 a 9)

Podemos distinguir:

- Casos 1A (calefacción con radiadores), 4 (splits) y 7 (splits y radiadores): en estos casos el rendimiento lo calcula el propio programa, al elegir los sistemas entre los existentes en CE3. Se observa una gran similitud en los valores del caso 7, no así en los del caso 1A y 4. En ambos casos, el rendimiento en calefacción es de más de un 40 % menor que el del método de referencia, mientras que en refrigeración del caso 4 sí que posee un valor similar.
- Es indicativo, también, el valor de casi el doble del rendimiento de calefacción del caso 1B, rendimiento fijado por el método de referencia, respecto del valor usado por CE3 en el caso 1A. El objetivo de distinguir entre estos dos casos era ver si existía una elevada diferencia entre los valores usando nuestro método de referencia y los que usa CE3, y así es.
- En aquellos sistemas no incluidos, CE3 está usando un rendimiento de 0,75 para calefacción y 2,41 para refrigeración, distintos de los 0,92 y 2,0 respectivamente usados según el CTE.
- El resto de casos se han fijado los rendimientos iguales al del método de referencia.

- En el ACS el rendimiento es de 0,99 frente al 0,88 del método de referencia.

#### Pequeño y medio terciario: oficinas (casos 10 a 12)

En este caso, y como no podía ser de otra forma dado que fijamos nosotros los rendimientos idénticos, ambos valores coinciden.

#### Gran terciario: aulario universitario (caso 13)

En el gran terciario, aulario universitario, caso 13, el sistema de calefacción se ha introducido eligiendo un sistema existente en el programa con las características de diseño de CYPE, despreciando las pérdidas en distribución. Debido a ello existe una variación del rendimiento medio estacional de 0,07, valor que no resulta elevado.

Por otro lado, al no haber sistema de refrigeración, CE3 considera que hay consumo 0, y no se aporta su rendimiento.

#### **Emisiones de CO<sub>2</sub>**

Mientras que en los casos del unifamiliar estudiados en CERMA, en los cuales la energía siempre era de origen eléctrico y su factor de conversión constante e igual a 0,372 (salvo en ausencia de sistema de calefacción), ahora en el caso 10 en oficinas, tendremos una caldera de gas natural y en el caso 13 del aulario una caldera de gasóleo.

Tabla V.49.- Comparación de valores de emisiones (kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>) en unifamiliar de EnergyPlus frente a CE3.

CASO	CYPE / ENERGYPLUS				CE3				Diferencia
	Calefacción	Refrigeración	ACS	TOTAL	Calefacción	Refrigeración	ACS	TOTAL	%
1A	12,36	6,12	6,17	24,65	74,53	11,68	10,98	97,19	294%
1B	12,36	6,12	6,17	24,65	41,70	11,68	10,98	64,36	161%
2	12,29	7,45	6,17	25,91	40,68	11,92	10,98	63,58	145%
3	4,58	6,12	6,17	16,87	15,45	11,68	10,98	38,11	126%
4	4,58	5,32	6,17	16,07	19,66	11,94	10,98	42,58	165%
5	9,10	7,20	6,17	22,47	24,59	16,55	10,98	52,12	132%
6	8,56	9,57	6,17	24,30	23,04	16,67	10,98	50,69	109%
7	8,47	5,32	6,17	19,96	30,10	11,94	10,98	53,02	166%
8	4,30	9,57	6,17	20,04	14,47	16,67	10,98	42,12	110%
9	4,58	7,20	6,17	17,95	15,45	16,55	10,98	42,98	139%
CASO	Calefacción	Refrigeración	Iluminación	TOTAL	Calefacción	Refrigeración	Iluminación	TOTAL	%
10	2,57	11,20		13,78	19,39	13,72	10,52	33,11	140%
11	1,11	11,20		12,31	18,04	13,72	10,52	31,76	158%
12	1,11	8,28		9,39	18,04	10,14	10,52	28,18	200%
13	28,45	5,15		33,60	18,13	0,00	12,05	18,13	-46%

Como en casos anteriores, no se incluye la iluminación en el apartado "TOTAL" de la tabla.

Se observa, en general, un gran aumento de las emisiones en todos sus componentes.

#### Residencial: unifamiliar (casos 1 a 9)

Podemos distinguir tres tipos de casos:

- La mayor diferencia se observa en calefacción en un elevado % de los casos. Sin embargo, no se corresponden en general con los casos 1A (radiadores), 4 (multisplit) y 7 (multisplit y radiadores), en los que el rendimiento es calculado por CE3, sino que hay además otros casos con una elevada diferencia de valor.
- En el ACS el consumo es de un 78 % mayor en el cálculo de CE3 respecto del obtenido por el método de referencia.
- Se debe mencionar el valor más alejado, el caso 1A (radiadores), dónde las emisiones totales con más del triple de las calculadas con CYPE / EnergyPlus.

#### Pequeño y medio terciario: oficinas (casos 10 a 12)

Se observa una gran variación como en los casos anteriores, sobre todo en %, ya que aún siendo menores las cantidades, los incrementos en % son del mismo orden de magnitud que los casos del unifamiliar.

Al igual que antes, se debe principalmente a la diferencia en los valores calculados en calefacción.

#### Gran terciario: aulario universitario (caso 13)

El caso 13 es en el único en que tenemos una disminución de las emisiones obtenidas, debido a:

- Las emisiones de calefacción disminuyen en un 36 %.
- No hay emisiones de refrigeración según CE3.

#### **Factor de conversión**

Se obtienen los valores de la tabla V.50.

Se puede observar que, en general, el valor más usado es 0,65 (idéntico valor al usado en CERMA). En CE3, a diferencia de CERMA, en todos los casos en los que el tipo de energía es eléctrica, el valor del factor de conversión es de 0,65, salvo en el caso de la calefacción del caso 4,

en la que siendo también un sistema con energía eléctrica (multisplit), el factor de conversión resulta 0,49, sin explicación aparente.

Tabla V.50.- Comparación de factor de conversión (kg CO<sub>2</sub>/kWh E. final) en resultados.

CASO	CYPE / ENERGYPLUS		CE3	
	Calefacción	Refrigeración	Calefacción	Refrigeración
1A	0,372		0,65	0,65
1B	0,372		0,65	0,65
2	0,372		0,65	0,65
3	0,372		0,65	0,65
4	0,372		0,49	0,65
5	0,252		0,29	0,65
6	0,252	0,372	0,29	0,65
7	0,372		0,65	0,65
8	0,372		0,65	0,65
9	0,372		0,65	0,65
CASO	Calefacción	Refrigeración	Calefacción	Refrigeración
10	0,252	0,372	0,20	0,65
11	0,372		0,65	0,65
12	0,372		0,65	0,65
13	0,287	0,372	0,29	

Hay que mencionar que deberían coincidir también los valores de calefacción de los casos 5 (unifamiliar sólo con refrigeración con fancoils), 6 (unifamiliar sólo con refrigeración con suelo refrescante) y 10 (oficinas con radiadores en calefacción y fancoils en refrigeración), al ser su energía el gas natural, en el caso 10 por diseño y en los casos 5 y 6 por definición del CTE en ausencia de sistema de calefacción. Sin embargo, en los casos 5 y 6 el valor coincide con el del caso 13. Se justifica en que en ausencia de sistema de calefacción, CE3 usa un sistema con gasóleo-c como combustible, y en el caso de ausencia de refrigeración, un sistema con energía eléctrica, como ya vimos que hacía CERMA.

La diferencia de valor entre los distintos tipos, se explica por la actualización de estos datos, no habiendo sido incorporados los utilizados en esta tesis, cuya modificación es de marzo de 2014 [5], presentados en la siguiente tabla.

Tabla V.51.- Comparación de factor de conversión (kg CO<sub>2</sub>/kWh E. final) en EnergyPlus y CERMA.

Energía	Tabla según IDAE y Ministerio (03/03/2014)	CE3
Electricidad	0,372	0,65
Gasóleo	0,287	0,29
Gas natural	0,252	0,20

La diferencia en emisiones de todos los casos, se deben, por tanto, a:

- Demanda calculada distinta.
- Rendimiento medio estacional usado distinto.
- Factor de conversión utilizado distinto.

## V.7. CYPE CON PERFILES DE USO REAL

La comparación, realizada sólo en cuanto a demanda dado que los cálculos son idénticos a partir de ésta en el método de referencia, permite tener una visión general de cuan alejados o cercanos son los cálculos realizados respecto a un uso real. La justificación de que los cálculos sean idénticos se da porque los rendimientos a usar y factores de conversión serían iguales a los ya utilizados con los perfiles de uso CTE, debido a lo cual no tiene sentido una comparación en consumos ni emisiones, pues las conclusiones serían similares a las presentadas en este apartado.

Los casos en los que se ha estudiado, son todos los vistos en CE3, salvo el caso 1B, idéntico al caso 1A en CYPE. Se muestran los casos y sus demandas en las siguientes tablas:

Tabla V.52.- Nomenclatura de casos estudiados en comparación de CYPE con distintos perfiles de uso.

CASO	Edificio
	Unifamiliar
	Calefacción
1	Radiadores
2	Suelo radiante
3	BC + fancoils + recuperador
	Refrigeración
4	Splits
5	BC + fancoils + recuperador
6	Suelo radiante refrescante
	Climatización
7	Radiadores + splits
8	Suelo radiante y refrescante
9	BC + fancoils + recuperador
	Oficinas
10	Sistema de agua en calefacción y sistema aire-agua en refrigeración
11	Sistema aire-agua en calefacción y refrigeración
12	Unidad de aire acondicionado con sistema multisplit
	Aulario universitario
13	Sistema de calefacción por radiadores

Tabla V.53.- Comparación de valores de demanda (kWh/m<sup>2</sup>) de EnergyPlus con distintos perfiles de uso.

CASO	Perfiles de uso CTE			Perfiles de uso reales			Diferencia (%)
	Calefacción	Refrigeración	TOTAL	Calefacción	Refrigeración	TOTAL	
1	33,23	32,89	66,12	57,66	106,24	163,90	148%
2	32,04	40,07	72,11	54,44	124,37	178,81	148%
3	33,23	32,89	66,12	57,66	106,24	163,90	148%
4	33,23	32,89	66,12	57,67	89,33	147,00	122%
5	33,23	32,89	66,12	57,67	89,33	147,00	122%
6	31,24	43,72	74,96	52,66	112,50	165,16	120%
7	33,23	32,89	66,12	57,66	106,24	163,90	148%
8	31,24	43,72	74,96	52,65	133,53	186,18	148%
9	33,23	32,89	66,12	57,66	106,24	163,90	148%
CASO	Calefacción	Refrigeración	TOTAL	Calefacción	Refrigeración	TOTAL	%
10	8,07	51,19	59,26	13,56	68,86	82,42	39%
11	8,07	51,19	59,26	13,56	68,86	82,42	39%
12	8,07	51,19	59,26	13,56	68,86	82,42	39%
13	78,32	27,67	105,99	99,59	63,97	163,56	54%

En la tabla V.53. no se incluyen los valores de ACS ya que no son obtenidos con EnergyPlus.

Como era de esperar en casos de unifamiliar (casos 1 a 9), se observa una uniformidad en los datos dependiendo de cerramientos (varía con suelos radiantes y refrescantes y sus transmitancias), siendo siempre superior al 100 % la demanda calculada con perfiles de uso real.

En los casos de refrigeración (casos 4 a 6) se produce una disminución de la demanda de refrigeración respecto de los demás casos análogos del unifamiliar. La introducción en CYPE de un edificio al que se va a aportar frío, incluye la necesidad de introducir los espacios que inicialmente no necesitan ser refrigerados (baños y aseos) como espacios climatizados y no tan sólo calefactados, ya que no permite el cálculo sin introducir un sistema en estos espacios. Esto disminuye la demanda de refrigeración en CYPE con perfiles de uso real, ya que dichos espacios necesitan muy poco aporte de refrigeración por m<sup>2</sup> en comparación con los espacios restantes (dormitorios, salón,...), disminuyendo así la media de demanda de kWh/m<sup>2</sup> del edificio.

Se podría optar por poner los espacios como no climatizados, pero entonces sería la demanda de calefacción la que se vería modificada al no incluir los espacios mencionados.

En casos de terciarios, siendo los perfiles de uso de CTE modificables según distintas condiciones operacionales, la diferencia es menor del 55 %. Esta diferencia menor se debe al mayor ajuste de las condiciones operacionales en el caso de uso real respecto al de perfiles de uso de CTE en terciarios que en el unifamiliar estudiado.

Pero en todos los casos, hay diferencias sustanciales entre las demandas, y por tanto consumos y emisiones, entre los perfiles de uso reales y los valores calculados con los definidos en el CTE.

## V.8. REFERENCIAS

- [1] Instituto Cerdá, Ministerio de fomento e IDAE (Instituto de Diversificación y Ahorro de la Energía). Guía para la Edificación Sostenible. Julio 1999.
- [2] Francisco Javier Rey Martínez, Eloy Velasco Gómez. Bombas de calor y energías renovables en edificios. Editorial Paraninfo, 2005.
- [3] IDAE. Manual de fundamentos técnicos de calificación energética de edificios existentes CE3. M-26893-2012. Madrid, Julio de 2.012.
- [4] CTE. Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación.
- [5] Ministerio de Industria, Energía y Turismo, IDAE (Instituto de Diversificación y Ahorro de la Energía). Factores de emisión de CO<sub>2</sub> y coeficientes de paso a energía primaria de diferentes fuentes de energía final consumidas en el sector edificios en España. 3 de Junio de 2.014.
- [6] Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, IDAE (Instituto de Diversificación y Ahorro de la Energía). Condiciones de aceptación de procedimientos alternativos a LIDE y CALENER – Anexos. Madrid, mayo de 2009.
- [7] Ministerio de Fomento, Secretaría de Estado de Infraestructuras, Transporte y Vivienda, Dirección General de Arquitectura, Vivienda y Suelo. Documento descriptivo climas de referencia. Julio de 2015.

### Páginas web

- [w-1] Ministerio de Industria, Energía y Turismo. Datos meteorológicos. Descargables en:



## CAPÍTULO VI.- CONCLUSIONES

<i>RESUMEN</i> .....	284
<i>ABSTRACT</i> .....	286
<i>VI.1. INTRODUCCIÓN</i> .....	288
<i>VI.2. EDIFICIOS ESTUDIADOS</i> .....	288
<i>VI.3. MÉTODO DE REFERENCIA</i> .....	289
<i>VI.4. PROCEDIMIENTOS SIMPLIFICADOS</i> .....	290
<i>VI.4.1. CERMA</i> .....	290
<i>VI.4.2. CE3</i> .....	291
<i>VI.5. CYPE CON PERFILES DE USO REALES</i> .....	293
<i>VI.6. DESARROLLOS FUTUROS</i> .....	294
<i>VI.7. CONCLUSIONES FINALES</i> .....	296



## **RESUMEN**

En el capítulo VI, se obtendrán las conclusiones de la tesis doctoral.

Se analizarán de forma independiente las conclusiones que se pueden obtener respecto del método de referencia, de los procedimientos simplificados y de los perfiles de usos reales.

Tras esto, se exponen trabajos futuros y conclusiones finales acerca del trabajo y resultados obtenidos.



## **ABSTRACT**

In chapter VI, the conclusions of the thesis will be obtained.

The conclusions that can be obtained with respect to the method of reference, simplified procedures and actual uses profiles will be analyzed independently.

After this, future work and final conclusions about the work and results are presented.



## VI.1. INTRODUCCIÓN

Esta tesis pretende contrastar la fiabilidad de distintos procedimientos simplificados reconocidos por el Ministerio de Industria, Energía y Turismo para la calificación energética de edificios existentes en España, utilizando otro sistema que se considera ya validado y contrastado. Por tanto, los procedimientos simplificados, elegidos en cada edificio según su uso, deben ser comparados con el método de referencia que nos aporte resultados considerados de elevada fiabilidad con los que comparar.

La primera parte de este estudio ha consistido en la elección tanto del método de referencia, como de los edificios a estudiar y los procedimientos simplificados a usar en cada caso.

## VI.2. EDIFICIOS ESTUDIADOS

Durante el desarrollo de esta tesis, se han estudiado 3 edificios diferenciados según la tipología en que se dividen en la normativa española en cuanto a metodología de estudio: edificio residencial, edificio pequeño y mediano terciario y edificio gran terciario.

La distinción que se debe hacer entre pequeño y mediano terciario viene originado por los sistemas susceptibles de ser estudiados por los programas o los procedimientos utilizados para su estudio, de tal forma que se estudian como gran terciario aquellos cuyos sistemas no puedan tratarse con el software o procedimiento de pequeños y medianos terciarios.

Hecha esta división, la tesis estudia los siguientes edificios, asociados a cada tipo:

- Edificio residencial: unifamiliar ubicado en Sevilla.
- Edificio pequeño y mediano terciario: edificio de oficinas ubicado en Estepona (Málaga).
- Edificio gran terciario: aulario universitario en Valladolid.

Este último edificio posee sistemas que pueden ser analizados como pequeño y mediano terciario. Sin embargo, se ha calculado como gran terciario para poder contrastar los procedimientos simplificados en gran terciario y cubrir así todas las tipologías de edificios.

En cada edificio se han usado distintos sistemas de calefacción, refrigeración y climatización en general, para poder contrastar los resultados no sólo en lo referente a demanda,

sino también a consumos y emisiones de CO<sub>2</sub>. Se plantean inicialmente 17 sistemas en los 3 edificios, estudiando sólo 13 por la imposibilidad de analizarlos con el método de referencia seleccionado en los 4 casos restantes.

### VI.3. MÉTODO DE REFERENCIA

Se han propuesto distintas alternativas para la elección de dicho método, basadas en EnergyPlus y TRNSYS, programas desarrollados y reconocidos internacionalmente en cálculos de simulación energética.

TRNSYS permitió la simulación del primer caso de estudio, obteniéndose las demandas del edificio, esto es, del unifamiliar con radiadores y sin sistema de refrigeración. Sin embargo, TRNSYS no calculó la demanda de refrigeración, dado que no se había definido tal sistema. Además, no estudia los rendimientos de instalaciones, sino que calcula demandas a las que nosotros debemos aportarle el rendimiento para obtener consumos. Dado que los rendimientos que podemos aportar a TRNSYS son los de los equipos usados, sin tener en cuenta rendimientos de distribución ni control, y que el estudio en los procedimientos simplificados se hace usando rendimientos medios estacionales, no horarios, se plantea usar TRNSYS para calcular demandas y posteriormente aplicarle rendimientos medios estacionales.

Análogamente se ha realizado en EnergyPlus, usando como interfaz gráfica CYPE. En esta ocasión se puede proceder de 2 formas:

- Diseñando en CYPE y exportando un fichero IDF de EnergyPlus, usándolo como entrada de datos en los cálculos.
- Diseñando en CYPE y usando EnergyPlus como motor de cálculo en el propio CYPE.

Con la primera posibilidad aparece una situación similar a la de TRNSYS, dado que CYPE exporta sistemas ideales, calculando por tanto EnergyPlus demandas y no consumos. Así pues, calcularíamos demandas a las que aplicaríamos rendimientos medios estacionales.

Por último, el uso de CYPE para diseño y EnergyPlus como motor de cálculo nos aporta como resultados de nuevo demandas.



Dado que las 3 vías llevaban al cálculo de la demanda con posterior aplicación de un rendimiento medio estacional para el cálculo de consumos y emisiones, se opta por el método que aporta mayor simplicidad de manejo: uso de EnergyPlus como motor de cálculo en CYPE.

Sin embargo, aunque el método posea una alta fiabilidad, no todos los casos son susceptibles de ser estudiados:

- No existen ficheros de datos climatológicos de EnergyPlus en distintas provincias españolas. Esto ha provocado el cambio de ubicación de algún edificio para su estudio.
- La variedad de sistemas diseñables en CYPE es inferior a los diseñables en TRNSYS. Esta limitación hace que distintos sistemas y casos puedan no ser estudiados en CYPE. Esto no afecta al cálculo de demandas y consumos del método de referencia, dado que los sistemas no tienen influencia en la demanda, que es lo que calculamos en CYPE/EnergyPlus para aplicarle un rendimiento, pero sí en el diseño de equipos a utilizar, al igual que en los métodos simplificados utilizados en esta tesis. Esta limitación, que supone un obstáculo en los casos estudiados aquí, no afecta en una certificación real, dado que en ellos se puede calcular la demanda en CYPE y, conocidos los equipos, se pueden calcular los consumos con los procedimientos simplificados.

Por último, se ha elegido el uso de rendimientos medios estacionales tabulados por el IDAE, según se detalla en la bibliografía del capítulo V.

## **VI.4. PROCEDIMIENTOS SIMPLIFICADOS**

Los procedimientos simplificados reconocidos por el Ministerio de Industria, Energía y Turismo para edificios construidos usados en esta tesis son CERMA y CE3.

### **VI.4.1. CERMA**

CERMA posee la limitación de uso a viviendas. En nuestro estudio, el único edificio destinado a viviendas es el unifamiliar que, con los distintos sistemas implementados, da lugar a 13 casos de estudio, obteniéndose resultados en 9 de ellos por la limitación de analizar el resto con el método de referencia.

No todos los casos se pueden estudiar en CERMA mediante los sistemas que vienen predefinidos en dicho software, teniendo pues que recurrir a definir un rendimiento del sistema utilizado en la vivienda, lo cual en edificios existentes no siempre es fácil, por lo que se ha recurrido a valores tabulados.

Hay elementos, como recuperadores de calor, que no pueden simularse en CERMA.

Los resultados obtenidos proporcionan las siguientes conclusiones:

- La demanda es generalmente un 38 % mayor que la calculada con el método de referencia, bajando esta diferencia cuando disminuye la transmitancia del suelo. Esta demanda mayor se debe principalmente al aumento de la demanda de calefacción.
- El rendimiento medio estacional usado por CERMA no está actualizado al nuevo CTE, ni las energías usadas por defecto, en ausencia de sistemas de calefacción o refrigeración, usando gasóleo-c y electricidad para calefacción y refrigeración respectivamente con rendimientos medios estacionales de 0,75 para calefacción y 1,7 para refrigeración.
- En emisiones de CO<sub>2</sub> hay una elevada diferencia, superior casi siempre al 100 % e incluso llegando a valores del 159 %. En este caso, afectan tanto calefacción como refrigeración y ACS, pero en una mayor proporción la calefacción.
- La diferencia en el valor del rendimiento estacional es, salvo en un caso de los estudiados, inferior al 10 %. Esto implica que el aumento de la diferencia entre los valores estudiados en cuanto a emisiones y los estudiados en demandas se debe al valor del factor de corrección. Este punto se comprueba observándose que el valor de dicho factor de conversión es de casi un 75 % mayor el usado en CERMA que en nuestro método de referencia, con los valores publicados en marzo de 2014.

#### **VI.4.2. CE3**

El número de casos estudiados en CE3 en los que se ha llegado a obtener resultados, es de 13, con 9 de uso residencial, y 4 de uso terciario. De estos últimos, que son casos estudiados en 2 edificios distintos (oficinas y aulario universitario), se ha estudiado uno de ellos como pequeño y mediano terciario (oficinas) y otro como gran terciario (aulario universitario), siendo este último

susceptible de ser estudiado como pequeño y mediano terciario, pero eligiendo hacerlo como gran terciario para usar todos los motores de cálculo del programa, que usa 3 motores de cálculo distintos en virtud del tipo de edificio: vivienda, pequeño y mediano terciario y gran terciario.

Al igual que en CERMA, no todos los casos se pueden estudiar en CE3 mediante los sistemas que vienen predefinidos en los programas, teniendo pues que recurrir a proporcionar un rendimiento al sistema utilizado en el edificio.

Como en CERMA, también hay elementos, como recuperadores de calor, que no pueden simularse en este programa.

De los resultados obtenidos podemos concluir:

- La demanda es normalmente de un 54 % mayor que la calculada en el método de referencia en uso residencial (bajando esta diferencia cuando disminuye la transmitancia del suelo), de un 87 % en oficinas y disminuye en 30 % en el aluario universitario. Esta demanda mayor o menor, se debe principalmente al aumento o disminución de la demanda de calefacción calculada por los diferentes procedimientos.
- El rendimiento medio estacional usado por CE3 no está actualizado al nuevo CTE ni las energías usadas por defecto en ausencia de sistemas de calefacción o refrigeración, usando gasóleo-c y electricidad para calefacción y refrigeración respectivamente con rendimientos medios estacionales de 0,75 y 2,41.
- Dentro de los rendimientos medios estacionales usados por CE3, en aquellos casos en que no se han impuesto estos, los resultados poseen similitud en refrigeración pero no en calefacción. Cabe destacar, el rendimiento tan bajo usado por CE3 en radiadores utilizando calefacción con energía eléctrica, cuyo valor es de 0,56.
- En la comparación de consumos, se puede observar un comportamiento dispar, en virtud de que el rendimiento medio estacional que afecte sobre la demanda de calefacción o refrigeración sea mayor o menor, los valores presentan desviaciones de entre un 20 y un 188 %. Debe hacerse mención a los casos con presencia de radiadores, dónde aparece la mayor diferencia.

- En emisiones de CO<sub>2</sub> la diferencia con el valor calculado con el método de referencia, se multiplica, dado que el factor de conversión utilizado en el caso de electricidad es idéntico que en CERMA (0,65) frente al 0,372 del método de referencia. Este valor, que en el caso de gas natural y gasóleo posee mayor similitud, hace que las emisiones lleguen a alcanzar valores con diferencias próximas a un 300 % respecto de los obtenidos con el método de referencia.

Por último, en los casos del unifamiliar, se observa una mayor cercanía en resultados al método de referencia de los valores obtenidos en CERMA que de los obtenidos en CE3. Esto es así tanto en emisiones como en demanda.

## **VI.5. CYPE CON PERFILES DE USO REALES**

Dada la utilidad que podemos desarrollar en CYPE con motor de cálculo EnergyPlus, podemos comparar la diferencia entre las demandas que existirían con los usos definidos por el CTE y los que pueden ser basados en parámetros utilizando un perfil de uso real.

Esto puede dar una idea de la fiabilidad de los métodos de cálculo basados en perfiles de CTE, frente a lo que realmente se demanda y consume en cada edificio.

En este sentido, se ha procedido a la comparación de demandas, puesto que el paso de demandas a consumos y emisiones sería idéntico con ambos perfiles consecuencia de la metodología utilizada.

Se observa que en el caso residencial la demanda posee valores de más del doble en virtud de la transmitancia del suelo. En terciarios la diferencia es menor, sobre el 39 %, pero sigue siendo mayor en los perfiles de uso reales que con los definidos en el CTE.

Se puede concluir pues, que sin entrar en la idoneidad del método de certificación, los valores energéticos no son representativos de unos usos reales. No obstante, estos procedimientos de certificación no tienen por objetivo proporcionar los consumos reales, sino realizar una comparación con edificios de referencia, lo cual permite obtener una calificación, lo cual reduce el efecto del procedimiento de cálculo, dado que los edificios se comparan utilizando el mismo método de evaluación, lo que reduce el efecto de la validez de los resultados obtenidos para un determinado edificio.

## VI.6. DESARROLLOS FUTUROS

Con el desarrollo de esta tesis, se ha llevado a cabo la valoración de distintos métodos de referencia y la valoración de procedimientos simplificados, mediante el cálculo de distintos casos que, en cuanto a su ejecución, podríamos desglosar en el siguiente diagrama:

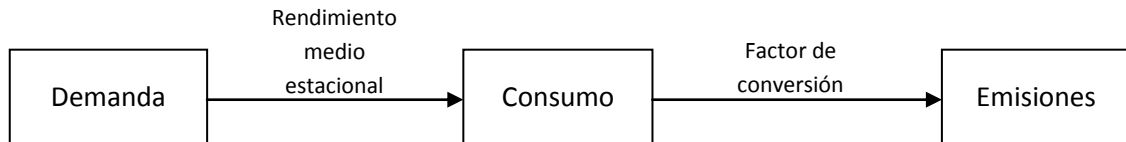


Figura VI.1.- Diagrama de bloques de metodología de cálculo en los procedimientos usados en la tesis.

Se proponen desarrollos que actuarán y aportarán posibles mejoras sobre cada uno de los elementos que aparecen en la figura VI.1.

En cuanto a la demanda:

1. Mejora del cálculo de la demanda, mediante el uso de metodologías o procedimientos internacionalmente contrastados. Por ejemplo basadas en EnergyPlus y TRNSYS.
2. Desarrollo de perfiles de uso más ajustados a los reales.
3. Desarrollo de perfiles o datos climatológicos locales, ya que en algunos casos, al ser siempre los de referencia los de la capital de provincia, pueden cambiar mucho respecto de los de algunas poblaciones en dicha zona.

En cuanto al rendimiento medio estacional:

4. Actualización periódica de los valores utilizados con los sistemas existentes en programas reconocidos y los rendimientos a usar. Actualización de sistemas y rendimientos de referencia en ausencia de estos. Esto podría cambiar la calificación obtenida en función del momento en que se realice, debiendo procederse a la renovación y actualización de la calificación de forma periódica, para así permitir la calificación del edificio con las últimas modificaciones de la normativa en el procedimiento reconocido.
5. Aplicación de corrección del rendimiento de sistema en función de posibles pérdidas de distribución y control.

6. Exigencia a fabricantes de tener bases de datos que permiten introducir al programa los rendimientos horarios, dependientes de las condiciones de operación, mediante la importación de ficheros.

Consumo:

7. Eliminación de hipótesis de cumplimiento de demanda existente. En las viviendas de cierta antigüedad en las que el sistema no se ha modificado, puede no compensarse la demanda. El procedimiento utilizado estaría dando valores de consumos mayores.

Se plantea el cálculo de la demanda compensada, para así ver la utilidad del sistema y el consumo real en estos casos. Según se detalla en la figura VI.2., la demanda de calefacción compensada será la parte de la demanda de calefacción que el sistema es capaz de compensar, eliminando del total, aquellas cargas puntuales que en el año el sistema no puede aportar.

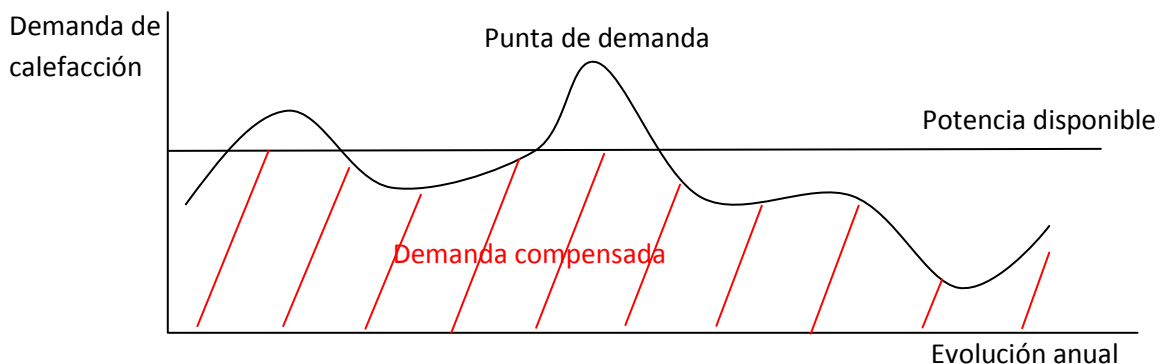


Figura VI.2.- Cálculo de demanda compensada en el edificio.

Factor de conversión:

8. Actualización de estos factores de forma periódica, ya que los procedimientos estudiados no se han actualizado y conlleva una diferencia de emisiones muy elevada. Al igual que en el caso de rendimientos medios estacionales, esto podría cambiar la calificación obtenida en función del momento en que se realice, debiendo procederse a renovaciones periódicas.
9. Incorporar la posibilidad de modificar este valor por el técnico, siempre justificando el valor utilizado. Por ejemplo, en contrataciones con

comercializadoras de energía renovable, la energía en origen eléctrica puede no estar asociada con las emisiones.

En general, además se podrían plantear las siguientes mejoras:

10. Desarrollo de interfaz gráfica que actúe con motor de cálculo contrastado (EnergyPlus o TRNSYS) específica para eficiencia energética en España. Esto conllevaría que los resultados obtenidos en emisiones sean entendibles y comparables por un ciudadano de la Unión Europea y se hagan desarrollos y políticas comunes. Además, permitiría:
  - a. Diseñar buscando una eficiencia, y no certificar algo ya diseñado, si no es con el objetivo de la rehabilitación energética del edificio.
  - b. Incluir rendimientos de distribución y control.
  - c. Hacer un cálculo más preciso evitando las simplificaciones realizadas por los procedimientos simplificados.
11. Mayor carga conceptual y conocimientos energéticos y térmicos en las certificaciones: la simplicidad que se le ha querido dar a los métodos simplificados hacen que sean realizables sin saber a que corresponde cada parámetro energético. Esto conlleva una mayor facilidad en la realización y un menor coste del certificado, pero también una menor calidad técnica de los resultados. Sería aconsejable que los técnicos encargados de la certificación demostraran conocimientos específicos en energética edificatoria

## **VI.7. CONCLUSIONES FINALES**

Desde la experiencia obtenida en el desarrollo de esta tesis doctoral, se propone un estudio en mayor profundidad de las características energéticas y térmicas de la envolvente del edificio, así como de sus distintos espacios, que los aportados por los procedimientos simplificados. Desde este punto de vista, debe utilizarse un método con mayor versatilidad y grado de estudio que los métodos simplificados actualmente reconocidos, dado que los resultados obtenidos y condicionantes en su obtención, no parecen ser adecuados ni en aspectos técnicos ni en resultados proporcionados.

A su vez, existen métodos generales como CALENER, cuyas simplificaciones son menores. Debe focalizarse los esfuerzos en mejorar dichas herramientas o proponer otras basadas en motores reconocidos, para obtener resultados más fiables, no simplificar el cálculo perdiendo precisión. Recientemente se han publicado diversos estudios en los que se llega a la conclusión de la no idoneidad para el cálculo de demandas de CALENER frente a EnergyPlus, como ya se ha descrito en el capítulo III de esta tesis. La optimización de este programa debería ser el objeto de un desarrollo y esfuerzo futuro, aumentando su versatilidad y precisión.

Dado que los métodos simplificados utilizan un motor de cálculo basado en simplificaciones hechas sobre CALENER que, como se ha comentado, realiza de por sí simplificaciones y no aporta un valor similar a otras herramientas, han dado en la mayoría de casos valores de demandas y consumos más conservadores, esto es, mayores, de los estrictamente calculados con programas reconocidos como EnergyPlus. Se puede estar calificando en virtud de una herramienta y no de unos resultados reales, aunque este efecto se minimiza al relacionarlo con el edificio de referencia.

Hay que tener en cuenta que, tanto CALENER como los procedimientos simplificados, no tienen por objeto calcular demandas, consumos o emisiones, sino obtener unos valores para comparar con otro de referencia, obtenido con idéntico motor de cálculo y, por tanto, con las mismas simplificaciones, sobre los que se obtiene la calificación.

Se puede concluir, que las herramientas de certificación en España aportan resultados de demanda que no debieran usarse como representativos de un estudio real en esas condiciones.



## **ANEXOS**

ANEXO I.- ESTADO NORMATIVO Y METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN ENERGÉTICA EN EDIFICIOS EN ESPAÑA Y OTROS PAÍSES.....	300
ANEXO II.- LISTADO DE EMISORES DEL AULARIO .....	394



# ANEXO I.- ESTADO NORMATIVO Y METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN ENERGÉTICA EN EDIFICIOS EN ESPAÑA Y OTROS PAÍSES

<i>RESUMEN</i> .....	302
<i>ABSTRACT</i> .....	304
<i>AI.1. NORMATIVA Y CÓDIGOS TÉCNICOS ENERGÉTICOS DE EDIFICACIÓN</i> .....	306
AI.1.1.    Introducción .....	306
AI.1.2.    Evolución histórica .....	306
AI.1.3.    Códigos desde un enfoque prescriptivo y de rendimiento .....	307
AI.1.4.    Códigos en continua evolución .....	308
AI.1.5.    Clasificación de eficiencia energética global en distintos países del mundo .....	311
<i>AI.2. METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN ENERGÉTICA EN LOS EDIFICIOS</i> .....	313
AI.2.1.    Edificios nuevos.....	314
AI.2.2.    Edificios existentes .....	314
<i>AI.3. FUNDAMENTOS DE LOS MÉTODOS DE EVALUACIÓN</i> .....	316
AI.3.1.    Conceptos fundamentales de un proceso de certificación .....	316
<i>AI.4. REVISIÓN DE MODELOS DE CARACTERIZACIÓN Y EVALUACIÓN ENERGÉTICA EN EL MUNDO</i>	324
AI.4.1.    Certificados Energéticos en la Unión Europea .....	324
AI.4.2.    Certificados energéticos en Norteamérica.....	367
AI.4.3.    Certificados Energéticos en Sudamérica .....	386
AI.4.4.    Certificados Energéticos en otros países: China.....	389
<i>AI.5. REFERENCIAS</i> .....	390



## RESUMEN

En este anexo se lleva a cabo un estudio de las normativas y códigos técnicos existentes en distintos países a nivel internacional, así como su estado de implementación.

Tras realizar dicha revisión, se procede a la descripción de los distintos tipos de metodología de evaluación que, conceptualmente, se puede realizar.

Finalmente, se estudia y describe el estado de la evaluación energética y su certificación en distintos países a nivel mundial. Este análisis se realiza en mayor profundidad en la Unión Europea, dado que la obligatoriedad impuesta por las distintas directivas en cuanto a factores como expertos cualificados, control de calidad, etc., permite un desarrollo en mayor profundidad del estudio de su evolución y aplicación.

Previamente, en el capítulo I, se trató la situación de la certificación energética en distintos países, tratándose de un resumen del presente anexo. Se puede, pues, encontrar en este anexo puntos ya expuestos en dicho capítulo, tratados aquí con mayor grado de detalle.



**ABSTRACT**

In this annex a study of regulations and codes existing in different countries at the international level is carried out, as well as their state of implementation.

After this review, the description of the different types of methodology of evaluation that conceptually can be done is made.

Finally, it explores and describes the state of the energy assessment and certification in various countries around the world. This analysis is carried out in greater depth in the European Union, given that the obligation imposed by the various directives in terms of factors such as qualified experts, quality control, etc., allows development in greater depth in the study of its evolution and implementation.

Previously, in chapter I, it was of the energy certification in different countries, that was of a summary of the present annex. It may be to find in this annex points already outlined in this chapter, treated here with a greater degree of detail.





## **AI.1.      NORMATIVA Y CÓDIGOS TÉCNICOS ENERGÉTICOS DE EDIFICACIÓN**

### **AI.1.1. Introducción**

La normativa o códigos técnicos de la energía en edificación son los instrumentos usados por los gobiernos para reducir el consumo energético de los edificios. Estos códigos consisten en un conjunto de requisitos mínimos de eficiencia energética obligatorio destinado a regular el uso de energía en los edificios. Abarcan tanto a edificios nuevos como edificios existentes sometidos a renovación o alteración. Los arquitectos e ingenieros utilizan los requerimientos energéticos funcionales establecidos en los códigos de construcción en sus aspectos relacionados con energía para diseñar edificios que cumplen con los estándares requeridos.

### **AI.1.2. Evolución histórica**

Establecer reglas para la construcción no es reciente. Se remonta a la ley del babilónico Hammurabi (1750 a.C.). Entre las 282 leyes que regulaban su reinado, seis trataban de la construcción de casas y de las penas para los constructores en caso de incumplimiento. Sin embargo, no es hasta el siglo XX cuando los gobiernos comienzan a incluir disposiciones acerca de aspectos energéticos, por primera vez en los códigos de construcción existentes y, posteriormente, en un documento independiente usualmente referido como "códigos energéticos del edificio".

Con el tiempo, estos códigos energéticos han evolucionado en respuesta a las prioridades de cada país. El impulso hacia la regulación de las condiciones térmicas se inició después de la Segunda Guerra Mundial (figura AI.1.) [1] y fue iniciado por los problemas de salud causados por el mal aislamiento en climas fríos. En la década de 1960, el aumento de los niveles de vida y una mayor demanda de mejores niveles de confort condujo a un aumento de los requisitos de aislamiento. La crisis del petróleo de 1973-1974 y la necesidad de reducir la dependencia del petróleo fueron el catalizador para los países miembros de la AIE para desarrollar códigos energéticos de edificios específicos para reducir las importaciones de energía usada en el sector residencial. En la década de 1990, cuestiones de cambio climático han llevado al desarrollo de necesidades energéticas más estrictas para los edificios. Hoy en día, la mayoría de los códigos energéticos en construcción avanzada están diseñados para promover el desarrollo de un bajo consumo de energía y edificios con bajas emisiones de carbono en el corto y medio plazo.

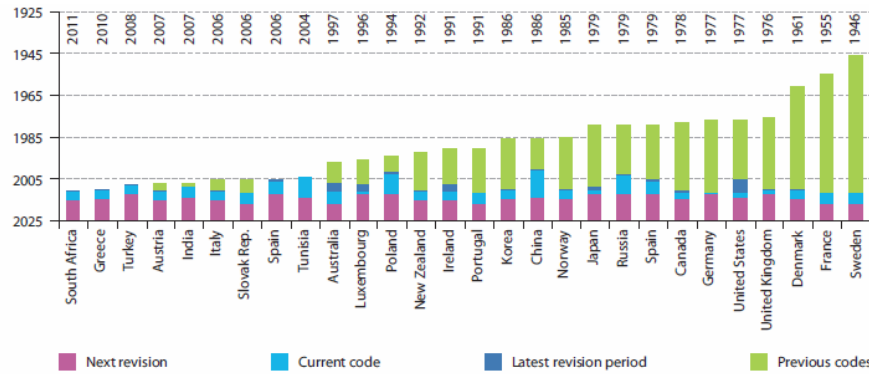


Figura AI.1.- Códigos energéticos en la construcción en países de la IEA, BRICS y Túnez.

### AI.1.3. Códigos desde un enfoque prescriptivo y de rendimiento

Distinguimos entre ambos enfoques.

#### Códigos desde un punto de vista prescriptivo

Los códigos energéticos de construcción desde un enfoque prescriptivo establecen los requisitos mínimos de eficiencia energética para cada tipo construcción. Estos tipos de códigos suelen incluir los niveles permisibles de pérdida de calor por las ventanas, techos y paredes, y/o los niveles de eficiencia para la calefacción, refrigeración y equipos de iluminación. El enfoque prescriptivo se desarrolló en la década de 1970 y es la forma más sencilla de establecer requisitos mínimos de eficiencia energética. Sin embargo, este enfoque es bastante restrictivo y deja menos flexibilidad y menos espacio para arquitectos e ingenieros para innovar, ya que su cumplimiento requiere el cumplimiento de cada requisito individualmente. Como reconocimiento de esto, se introdujo en la década de 1980 una forma alternativa de “intercambio mutuo” para ofrecer una mayor flexibilidad en el diseño de edificios. Este balance se hace generalmente entre necesidades energéticas de la envolvente del edificio y las de calefacción y refrigeración. En general, utilizando el enfoque prescriptivo no se permite a los diseñadores maximizar el potencial de ahorro debido a la interacción entre los distintos sistemas del edificio.

#### Códigos desde un punto de vista de rendimiento

Los códigos energéticos de la construcción basados en el rendimiento requieren el diseño del edificio en su globalidad para considerarse como un único sistema. Se necesita una buena comprensión de la ciencia de la construcción y un sofisticado software para hacer frente a los múltiples factores que influyen en el rendimiento de la energía y sus interacciones.

Entre los factores a tener en cuenta en la metodología de cálculo se incluyen:

- La forma y orientación del edificio.
- La luz del día.
- Las ganancias solares y sombras.
- La proporción de zonas acristaladas.
- La construcción de la inercia.
- Puentes térmicos.
- Ventilación natural y mecánica.
- Confort interior.
- Cargas internas de los aparatos, equipos y ocupantes.
- El desempeño de los diferentes componentes y equipo de construcción.
- El uso de fuentes de energía renovables y controles automáticos.

El rendimiento energético de un edificio se calcula sobre la base de la energía anual necesaria para satisfacer el nivel de confort del usuario. Esto puede variar según el tipo de edificio, zona climática y patrón de uso.

El rendimiento energético del edificio se expresa habitualmente en términos de energía primaria por unidad de superficie útil, dado en kWh/m<sup>2</sup>-año, o en términos de emisiones de CO<sub>2</sub> por unidad de superficie útil. El enfoque de rendimiento permite más sinergias, como el uso de mayores zonas acristaladas donde se necesita mayor luz solar compensando de las pérdidas de energía mediante la selección de ventanas bien aisladas.

Estos códigos incluyen el rendimiento energético mínimo preceptivo, o como alternativa, el consumo máximo de energía admisible, de componentes y sistemas de edificios.

#### **AI.1.4. Códigos en continua evolución**

El ámbito de los códigos energéticos en construcción ha evolucionado, tanto en términos del tipo de edificios que cubren, como geográficamente. Inicialmente, su alcance incluía sólo los nuevos edificios residenciales. Posteriormente, se amplió para incluir nuevas, edificios no residenciales. Más recientemente, su alcance se ha ampliado para cubrir los

edificios existentes cuando se someten a renovación o modificación, así como cuando se procede a su venta o alquiler.

Hoy en día, los códigos se aplican para los edificios nuevos y existentes, residenciales y no residenciales, de forma obligatoria, de forma voluntaria o una aplicación mixta. Sin embargo, la aplicación de forma obligatoria es probable que sea la única forma eficaz de lograr los cambios deseados. Las figuras AI.2, AI.3, AI.4 y AI.5 muestran el uso de estos diferentes enfoques de todo el mundo para los nuevos edificios residenciales, edificios de viviendas existentes, los nuevos edificios no residenciales y los edificios no residenciales existentes.

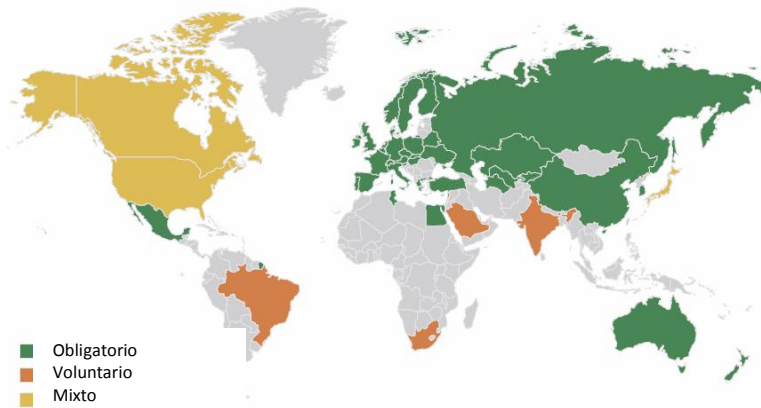


Figura AI.2.- Aplicación de códigos energéticos en nuevos edificios residenciales en el mundo.

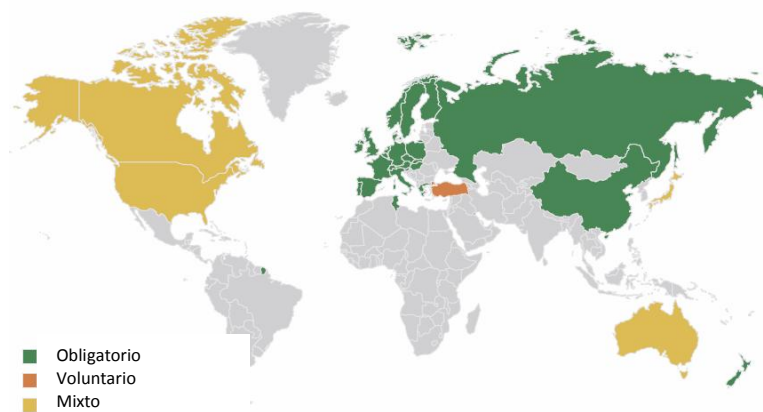


Figura AI.3.- Aplicación de códigos energéticos en edificios existentes residenciales en el mundo.

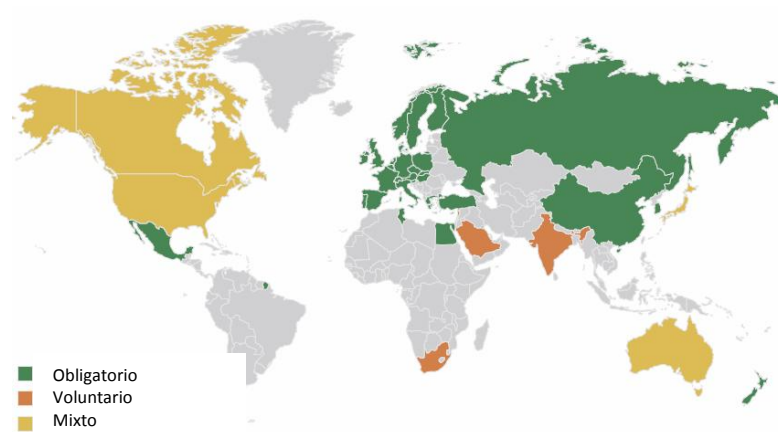


Figura AI.4.- Aplicación de códigos energéticos en edificios nuevos no residenciales en el mundo.

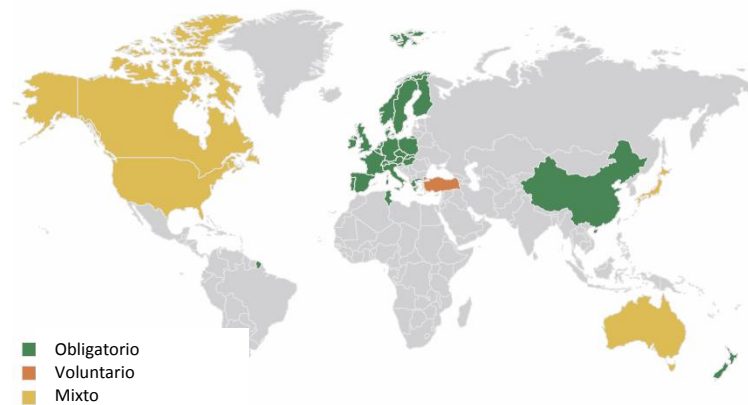


Figura AI.5.- Aplicación de códigos energéticos en edificios existentes no residenciales en el mundo.

La información sobre los requisitos de energía incluida en los códigos de eficiencia energética de los países miembros de la AIE (Agencia Internacional de Energía) y otros, han sido recopilados en una base de datos de la AIE “Buildings Energy Efficiency Policies (BEEP)”.

#### **Base de datos “Buildings Energy Efficiency Policies (BEEP)”**

La AIE ha desarrollado la base de datos de Políticas de Eficiencia Energética de Edificios (BEEP) [w-1].

BEEP ofrece información detallada sobre los requisitos incluidos en 448 códigos de eficiencia energética en la construcción (34 países). Permite a los usuarios buscar información específica sobre cada código energético de edificios, tales como los requisitos energéticos incluidos en el código, la justificación de cumplimiento y las tasas.

También incluye información detallada sobre 240 sistemas de etiquetado y 219 programas de incentivos y, cuando estén disponibles, ofrecerá información sobre la estrategia de creación de lo que en España se ha llamado edificios de energía cero, desarrollado por cada país.

El objetivo de BEEP es compartir información sobre cada instrumento normativo elaborado y/o aplicados por los países miembros de la AIE y de los países BRICS (Brasil, Rusia, India, China y Sudáfrica). Cuando información similar esté disponible en otros países distintos a estos, también se incluirá.

### AI.1.5. Clasificación de eficiencia energética global en distintos países del mundo

Alemania lidera la clasificación de eficiencia energética (en general, no sólo de edificios) de las principales economías del mundo, seguida por Italia, la Unión Europea en su conjunto, China y Francia, según un informe elaborado por la organización sin ánimo de lucro ACEEE (American Council for an Energy-Efficient Economy) [w-2] y publicado el 17 de Julio de 2.014 en Washington. España ocupa la octava posición.



Figura AI.6.-Clasificación energética en el mundo.

El informe de ACEEE evalúa el consumo de energía en las primeras 16 economías del mundo, que representan el 81% del PIB mundial y el 71% del consumo de energía. Los países evaluados por ACEEE han quedado, en orden:

- 1º Alemania
- 2º Italia
- 3º La Unión Europea en su conjunto
- 4º China y Francia empatados
- 6º Japón
- 7º Reino Unido
- 8º España
- 9º Canadá
- 10º Australia
- 11º India
- 12º Corea del Sur
- 13º Estados Unidos
- 14º Rusia
- 15º Brasil
- 16º México

La ACEEE utiliza 31 indicadores distribuidos en cuatro grupos para realizar el análisis:

- Indicadores sobre aspectos intersectoriales de la utilización de energía a nivel nacional (como relación agua-energía o etiquetado energético).
- Los tres sectores principales responsables de consumo de energía en un país desarrollado económicamente:
  - Edificios.
  - Industria.
  - Transporte.

Los países con mayor puntuación en cada grupo son:

- Esfuerzos nacionales: E.E.U.U., Francia, e Italia (triple empate).
- Edificios: China.
- Industria: Alemania.
- Transportes: Italia.

Aporta datos tan llamativos como que países como China, Canadá e India son más eficientes en el uso de la energía que Estados Unidos.

## **AI.2. METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN ENERGÉTICA EN LOS EDIFICIOS**

Los métodos de evaluación de la eficiencia energética de edificios suelen comparar demandas respecto de otros edificios.

Podemos decir que la eficiencia energética de un determinado edificio se calcula por comparación de su comportamiento en relación a otros situados en la misma localidad, del mismo sector edificatorio (residencial, hoteles, oficinas,...) y con características análogas, tales como compacidad o características ocupacionales y funcionales.

En la actualidad existen diversos sistemas de certificación energética funcionando tanto en los países europeos como en los Estados Unidos, existiendo diferencias entre los esquemas seguidos en cada caso.

La clasificación general de los sistemas de certificación se puede realizar en función de los siguientes aspectos:

- Tipos de edificios evaluados.
- Sectores edificatorios evaluados.
- Método de cálculo empleado para la obtención del consumo.
- Usos energéticos evaluados.
- Criterios para la evaluación del edificio.
- Resultados aportados.
- País de aplicación.
- Carácter obligatorio o voluntario del mismo.
- Enfoque de la certificación, como se vio en el punto anterior.

Los tipos de edificios evaluados pueden ser nuevos o existentes.



### **AI.2.1. Edificios nuevos**

En los edificios de nueva construcción, el consumo energético se calcula de forma teórica, estimando las condiciones ocupacionales y funcionales del edificio, así como las características de los sistemas energéticos (climatización, iluminación, agua caliente sanitaria,...).

En este caso toda la información técnica del edificio, en cuanto a materiales, diseño, sistemas,..., necesaria para la certificación energética, se puede obtener fácilmente a partir del proyecto constructivo.

### **AI.2.2. Edificios existentes**

La certificación de un edificio existente deberá tener en cuenta los actuales niveles de consumo, que dependerán no sólo de las características constructivas del edificio definidas en el proyecto constructivo inicial en el que se describen las propiedades que definen la calidad térmica de la envolvente, la compacidad, la orientación y los elementos de sombra que conforman el edificio, sino de las características ocupacionales y funcionales reales del edificio, además de otros aspectos, como son la operación y el mantenimiento de los sistemas de climatización e iluminación existentes.

La recopilación de la información técnica necesaria para realizar la certificación, supondrá un mayor coste en el caso de los edificios existentes, ya que deberá realizarse una inspección en campo para obtenerla, pues generalmente los propietarios de los edificios no disponen de esta información técnica. La cantidad de información necesaria depende del grado de detalle con el que se defina el sistema de certificación, pudiendo necesitar en ocasiones incluso ensayos destructivos en el edificio, como perforaciones en muros y forjados para determinar el tipo de aislamiento.

Aun disponiendo del proyecto constructivo original del edificio, suelen ser antiguos y no suelen presentar un elevado grado de detalle de los elementos constructivos utilizados. Además, en muchos casos pueden haber existido cambios importantes del proyecto original a lo realmente edificado o posteriores modificaciones para intentar resolver los problemas existentes en los edificios, como filtraciones, humedades, falta de confort térmico,...

En España, por ejemplo, hay que tener en cuenta que en la mayoría de estos edificios los materiales utilizados para su construcción son materiales que no cumplen el CTE actual, dada su antigüedad, y que las instalaciones cuentan años de utilización, lo que conlleva el

desgaste de las mismas y la disminución de su rendimiento. Esto es tenido en cuenta en métodos de certificación como CE3 basado en la descripción general del edificio.

Los métodos de cálculo empleados para los modelos de certificación, por tanto, pueden responder a distintos objetivos como son:

- Estimación de necesidades energéticas del edificio.
- Normalización/corrección del consumo energético medio del edificio en función del clima y del uso para poder compararlo con un comportamiento energético estimado, de diseño o histórico (vía estadística).
- Estimación de potenciales de ahorro energético asociado a propuestas de mejora.

En función de cómo se obtenga el valor de la variable, los métodos se clasifican en dos grandes grupos:

- Métodos de medidas: procedimientos basados en medidas tomadas de contadores energéticos. Mediante un análisis estadístico de estos resultados de medida simultánea de consumos energéticos y parámetros de control, se deduce la calificación en función del comportamiento energético del edificio. Un ejemplo serían los denominados métodos de la firma energética [2].
- Métodos analíticos: modelos dinámicos de simulación, en los que el consumo es obtenido mediante un modelo teórico. En función de variables de diseño y de las características de los sistemas energéticos, se calcula el consumo energético. Además, se puede normalizar el consumo usando las características climáticas establecidas por la norma.

Por otro lado, los métodos difieren de un país a otro en función del grado de evolución y estudio sobre el consumo energético del parque edificatorio, así como de las prioridades nacionales.

Los sistemas de certificación existentes pueden evaluar, a su vez, usos energéticos diferentes. Existe la posibilidad de evaluar los consumos de calefacción, refrigeración, iluminación, agua caliente sanitaria, electrodomésticos, equipos de oficina,...

En cuanto a los resultados que se pueden calcular en los distintos esquemas de certificación existentes, se pueden resumir los siguientes:

- Consumo de energía final.
- Demanda de energía.
- Consumo de energía primaria.
- Coste energético.

En algunos esquemas se calculan otros datos adicionales como son las emisiones de CO<sub>2</sub>, otras emisiones (SO<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub>) y consumo de agua.

Esta revisión se va a centrar en todos aquellos esquemas de certificación empleados para evaluar edificios nuevos y existentes, distinguiendo también entre aquellos esquemas que trabajan con el sector residencial o el no residencial.

En primer lugar se van a presentar las características generales de todos aquellos sistemas de certificación que están funcionando dentro de la Unión Europea para, posteriormente, extender la revisión a otros países fuera del entorno europeo, pero con procesos de certificación ampliamente implantados y desarrollados, como es el caso de Norteamérica.

### **AI.3. FUNDAMENTOS DE LOS MÉTODOS DE EVALUACIÓN**

Como hemos dicho, la certificación energética se calcula siempre de forma relativa, es decir, mediante comparación entre el comportamiento de un edificio en relación con otros. Será pues necesario escoger cuál será el grado de similitud entre el edificio a calificar (edificio objeto) y los edificios con los que se va a comparar (edificio de referencia). Estos podrían estar situados en la misma localidad, pertenecer al mismo sector edificatorio (residencial, hoteles, educación,...) y presentar características análogas tales como compacidad o características ocupacionales y funcionales, incluyendo la distribución temporal de las mismas.

La elección del edificio de referencia condicionará claramente la calificación obtenida, ya que un edificio objeto no puede poseer la misma semejanza respecto de un edificio análogo cercano que respecto de un edificio representativo del parque de viviendas general del país.

#### **AI.3.1. Conceptos fundamentales de un proceso de certificación**

A continuación se detalla la descripción y el análisis de conceptos fundamentales existentes dentro de cualquier procedimiento de certificación o calificación.

### Indicadores energéticos

Un indicador se puede definir como un parámetro o valor que proporciona información acerca de un determinado hecho o situación [3].

El indicador energético, que no es más que un indicador usado en el campo de la energía, permite simplificar, cuantificar y resumir, mediante un único parámetro, gran parte de la información energética de un edificio.

Características de un indicador energético:

- La definición de un indicador energético puede variar en función de los objetivos perseguidos.
- Existen diferencias entre los sistemas de certificación en función del tipo de indicador empleado para la evaluación energética del edificio.
- El indicador energético puede tener un carácter global, representando el consumo energético del edificio, o puede ser parcial, cuantificando alguno de los aspectos que afectan al consumo energético como por ejemplo la envolvente del edificio.

En el caso de optar por indicadores globales del consumo energético se puede diferenciar entre los esquemas de certificación en los que se evalúa el uso energético en términos de energía primaria y los que lo hacen en términos de energía final. Existen dos variantes de la primera alternativa, que califican en función del nivel de emisiones de CO<sub>2</sub> correspondientes al consumo de energía primaria o en función del coste energético. Para obtener estos valores habría que tener en cuenta los coeficientes de paso a emisiones o las tarifas energéticas respectivamente, en función del tipo de energía utilizada.

Cuando se emplea el consumo de energía final como indicador, se estará evaluando la calidad tanto de la envolvente como de los sistemas del edificio susceptibles de ser evaluados dentro del procedimiento de certificación.

El indicador del comportamiento energético propuesto por la normativa europea (EN15203, 2005) [4] se corresponde a la suma ponderada del consumo anual de todas las fuentes de energía dividido por la superficie total acondicionada del edificio.

El consumo energético de un edificio puede obtenerse directamente de la suma de las facturas energéticas. Sin embargo, hay que tener en cuenta en este caso, que no sólo se

estaría evaluando el consumo energético, sino también el debido a operaciones y mantenimiento. Es necesario, pues, especificar si se considera el comportamiento del edificio y sus sistemas desde el punto de vista energético, si se evalúa su uso, o ambas cosas [5].

Por otro lado, existen esquemas en los que el indicador energético es la demanda energética del edificio. En este caso la evaluación queda restringida a la calidad de la envolvente del edificio, quedando excluidos de la calificación todos los aspectos relacionados con el rendimiento de los sistemas energéticos como climatización y agua caliente sanitaria. Esta opción es útil para calificar edificios nuevos que se entreguen sin sistemas de climatización, aportando información al usuario acerca de la calidad térmica del edificio.

En España, actualmente, se obtiene una primera valoración basada en la demanda en el sentido de si cumple o no cumple, dentro de los procedimientos existentes para la calificación energética. Esto, que inicialmente se obtenía mediante el uso del programa LIDER, actualmente se detalla dentro de los propios cálculos de los sistemas de calificación existente como un paso previo a la obtención de la calificación. Podemos ver así si nuestro edificio cumple o no con los requisitos mínimos exigidos en el CTE, en su apartado HE1.

Existen esquemas de certificación que evalúan al edificio en función de otros muchos aspectos además de los mencionados: la calidad del ambiente interior, el uso del agua, la relación con el entorno (transportes, localización,...), el impacto ambiental y sobre la salud pública, el ciclo de vida del edificio y sus materiales,...

Algunos de los ejemplos más significativos de estos tipos de sistemas de certificación son el método BREEAM [w-3] y el LEED [w-4]. En ambos casos la necesidad de justificar la puntuación obtenida en cada una de las categorías requiere una laboriosa labor de recopilación de información.

### BREEAM

BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Methodology), publicado por primera vez por el Building Research Establishment (BRE) [w-3] en 1990, es el método más antiguo y más utilizado en el mundo de la evaluación, calificación y certificación de la sostenibilidad de los edificios. Más de 250.000 edificios han sido certificados BREEAM y más de un millón están registrados para la certificación, muchos de ellos en el Reino Unido, habiendo certificados en más de 50 países de todo el mundo. BREEAM es una certificación ampliamente reconocida a nivel internacional.

Es un sistema flexible y ha sido adaptado para su aplicación a diferentes países y tipologías edificatorias, y permite su uso en diversas fases del proyecto (construcción, rehabilitación, acondicionamiento,...).

BREEAM evalúa los edificios según un sistema de créditos agrupados en nueve categorías principales, identificando y premiando medidas que contribuyan al bienestar de los ocupantes y la protección del medio ambiente, para conceder finalmente cinco niveles de certificación: *Aprobado, Bueno, Muy bueno, Excelente y Excepcional*.

Recientemente, junto con su lanzamiento internacional, la BRE ha firmado acuerdos para la adaptación de este sistema a varios países, entre ellos. España. La primera versión adaptada a nuestro país, *BREEAM ES*, tiene aplicación para oficinas, comercial, industria, vivienda y urbanismo.

Actualmente existen 123 proyectos certificados BREEAM en España, siendo sólo 3 de ellos con categoría *excepcional*. Sólo 2 de estos 123 proyectos están ubicados en Castilla y León, en concreto están en Valladolid: los centros comerciales de Vallsur y Scena. Ambos poseen la categoría *Muy buena*.

### LEED

LEED (Leadership in Energy & Environmental Design) es un sistema de certificación de edificios sostenibles, desarrollado por el Consejo de la Construcción Verde de Estados Unidos (US Green Building Council) [w-4]. Fue inicialmente implantado en el año 1998, utilizándose en varios países desde entonces.

LEED sirve como estándar para la nueva construcción y grandes remodelaciones, operación y mantenimiento, remodelación de interiores, viviendas individuales y desarrollo de urbanizaciones.

Se caracteriza por proporcionar una evaluación de la sostenibilidad de la edificación valorando su impacto en cinco áreas principales: emplazamiento sostenible, eficiencia en el uso del agua, medidas de eficiencia energética y energías renovables, uso de materiales y recursos naturales, y calidad del ambiente interior de los edificios.

Dentro de LEED se han desarrollado diferentes tipos de estándares o “sellos” dependiendo del tipo de proyecto (vivienda, educacional, hospitalario, desarrollo urbano, etc.) y se otorga certificación según cuatro niveles: *Certificado, Plata, Oro y Platino*.

Actualmente existen 82 edificios certificados LEED en España, en sus diversas categorías, siendo 12 de ellos en su categoría *Platino*. A destacar, dentro de estos, que sólo 2 de ellos están ubicados en Castilla y León: la Factoría KraftFoods H. Orbigo en Astorga (León) [w-5] y el Edificio LUCIA de la Universidad de Valladolid [w-6]. Sólo el Edificio Lucía posee la categoría *Platino*.

### **Métodos de cálculo**

Existen diferencias en el método empleado para obtener los indicadores, en virtud de si el edificio es nuevo o existente.

- Edificios de nueva construcción: el consumo energético se calculará de forma teórica, estimando para ello las condiciones ocupacionales y funcionales del edificio, así como las características del sistema de climatización e iluminación. Toda la información técnica acerca del edificio necesaria para llevar a cabo la certificación, se puede obtener a partir de los datos del proyecto constructivo.
- Edificios existentes: la certificación deberá tener en cuenta los actuales niveles de consumo, que dependerán de las características ocupacionales y funcionales reales del edificio, además de otros aspectos como son la operación y el mantenimiento de los sistemas de climatización e iluminación.

Para edificios existentes existen dos vías: la simulación y el empleo de medidas en el propio edificio. En este último caso, el procedimiento genera una medida del comportamiento real y actual del edificio (evaluando la calidad constructiva), de los servicios y del control del perfil de uso y el clima real. Se estará evaluando tanto la operación como el mantenimiento llevado a cabo en el edificio.

Hay que tener en cuenta que las estimaciones obtenidas de consumo energético mediante métodos de cálculo son diferentes al consumo real que se puede medir en el edificio, con diferencias que, en algunos casos y dependiendo del método empleado, pueden dar diferencias considerables.

Estas diferencias se deben principalmente a:

- La representación del edificio y de los sistemas de calefacción y refrigeración en el modelo de cálculo se encuentra simplificada.

- Existen discrepancias entre el proyecto del edificio y de las instalaciones y su construcción.
- El edificio no opera de la forma más eficiente.

A continuación se detallan las ventajas e inconvenientes de ambas formas de certificación (basada en medidas y basada en simulación), como procedimientos alternativos para la obtención del indicador del comportamiento energético:

- Recopilación de la información técnica necesaria para llevar a cabo la certificación: Supondrá un esfuerzo considerable en el caso del empleo de la simulación, ya que deberá realizarse una tarea de inspección de campo para obtenerla, pues generalmente los propietarios de los edificios no disponen de esta información. La cantidad de información necesaria dependerá del grado de detalle con el que se defina el modelo de cálculo. Además, en este caso existirá una incertidumbre respecto a los datos de entrada, tanto constructivos como operacionales.
- Encuestas: Si se opta por la vía de las medidas se requerirán encuestas que complementen la información acerca del edificio, ya que en este caso el patrón de uso empleado es el real y es necesario conocerlo para corregir el consumo medido y pasarlo a condiciones estándar. Estas encuestas presentan un riesgo en cuanto a la certificación de viviendas, ya que pueden no ser lo suficiente representativa en cuanto a la subjetividad de la respuesta.
- Variación con los parámetros de entrada: Así como la simulación permite la estimación de potenciales de ahorro a través de variaciones de los parámetros de entrada en el modelo de cálculo, las medidas no presentan esta posibilidad, si bien informan acerca del consumo real del edificio y, con un tratamiento adecuado, de las posibles mejoras alcanzadas entre periodos evaluados.
- Información: Serán los métodos basados en simulaciones la que proporciona un desglose del consumo por usos, mientras que las medidas sólo arrojan resultados totales, requiriendo una desagregación posterior en base a la información que se disponga acerca de las características del edificio y su régimen de funcionamiento. A pesar de ello, hay que tener en cuenta que el desglose por usos proporcionado por la simulación puede ser poco realista, ya que usa patrones de uso estándar, que pueden estar muy alejados del real.



### **Escenario de comparación**

Una vez escogido el indicador a estudiar, será necesario establecer el edificio o edificios de referencia o datos de comparación necesarios durante el proceso de evaluación.

La definición de los valores o edificio de referencia tendrá dos puntos de vista independientes: interno, basado en el comportamiento del propio edificio, y externo, basado en factores externos (climatología, ubicación,...).

El escenario de comparación basado en referencias internas se emplea para ver el comportamiento del propio edificio con la variación de las circunstancias de éste. Esto posee una gran utilidad para evaluar el alcance de medidas de ahorro implantadas en el edificio, comparando su comportamiento antes y después de las medidas.

Un escenario de comparación basado en referencias externas sirve para evaluar el comportamiento energético de un edificio en relación a edificios de similares características. Un ejemplo de referencia externa sería el consumo medio de los edificios de similares características al evaluado en el mismo país o localidad.

Ejemplo de referencia externa es el que propone la norma europea EN 15217 (CEN EN 15217, 2005) [6]. En su apartado número siete, propone que la evaluación del comportamiento energético de los edificios, necesaria para la certificación, se realice teniendo en cuenta las siguientes referencias:

- Referencia relativa a la normativa: se corresponde con el valor límite de consumo que cabe esperar en edificios nuevos similares al edificio objeto, conformes a la reglamentación vigente en 2006.
- Referencia relativa al stock: se corresponde con el valor de consumo que cabe esperar sea alcanzado por el 50% del parque de edificios existentes similares al edificio objeto.
- Referencia cero: se corresponde con edificios que producen más energía de la que usan.

Ambos tipos de referencia tienen su utilidad, pero para la certificación energética de edificios que ha de llevarse a cabo, es la referencia externa la más adecuada, tal y como propone la norma europea EN 15217.

### Escenario construido a partir de datos estadísticos

Se compara el consumo de un edificio existente con una distribución de consumos característica de ese edificio, obteniendo una determinada puntuación en función del porcentaje de edificios que consuman por encima de él. Para poner en práctica este procedimiento será necesario implantar en el país campañas de monitorización de datos durante unos años para poder elaborar la estadística correspondiente.

No en todos los países existen estas campañas de monitorización.

Ejemplo: bases de datos disponibles sobre consumos energéticos de edificios de EE.UU. (CBECs [w-7] RECS [w-8]). Estas se han tomado de las encuestas realizadas por la Agencia de Información Energética (EIA) [7] para el departamento de Energía (DOE) [w-9] de Estados Unidos desde el año 1987. Estas encuestas reúnen información acerca de las características físicas de los edificios, de sus patrones de uso y ocupación, de los principales equipos empleados y de los tipos de energía utilizados para cada uso posible.

Posteriormente se estudia la situación de la existencia de bases de datos de certificación, las cuales son una fuente de información estadística válida para este escenario, en toda la Unión Europea.

### Escenario construido a partir de edificios de referencia

Existen muchos métodos que optan por construir el marco de comparación a partir de edificios de referencia. De hecho, este escenario de referencia es el usado en los métodos de certificación usados en España.

Hay que distinguir entre aquellos sistemas de calificación que lo hacen en función de un valor umbral, en cuyo caso sólo será necesario definir la referencia mínima, y los que evalúan en función de la posición que ocupe el edificio objeto entre el valor mínimo admisible y el máximo posible, que requerirán la definición de una escala de puntuación adecuada. En España se usa una escala de calificación para edificios de nueva construcción [w-10] y edificios existentes [w-11].

Al hablar de edificio de referencia, se hace referencia a un escenario de comparación. Sin embargo, este escenario puede que sea obtenido con un solo edificio de referencia, o un conjunto de edificios que sirvan como base para generar un conjunto de valores suficientemente representativo.

En España, las características básicas del edificio de referencia vienen definidas en el CTE (Código Técnico de Edificación) en su apartado DB HE Ahorro de Energía [w-12].

Todos los sistemas de certificación estudiados posteriormente en los distintos países cuantifican el edificio evaluado.

En algunos sistemas, además, se aporta información acerca del edificio, como propuestas de medidas de mejoras energéticas en función de su posible impacto sobre la calificación, pero la calificación que finalmente va a recibir el edificio deberá ser fácilmente entendible por los usuarios finales del mismo. Por ello la posición que finalmente ocupe el edificio dentro del marco de comparación o la puntuación que obtenga de acuerdo a un determinado baremo deberá sintetizarse y expresarse en una puntuación.

#### **AI.4. REVISIÓN DE MODELOS DE CARACTERIZACIÓN Y EVALUACIÓN ENERGÉTICA EN EL MUNDO**

A continuación se revisan algunos de los modelos de caracterización y evaluación existentes en la actualidad en diferentes países, tanto de la Unión Europea como externos a ésta [8].

##### **AI.4.1. Certificados Energéticos en la Unión Europea**

La transposición de la Directiva EPBD relativa a la eficiencia energética de los edificios ha exigido el desarrollo de un certificado de eficiencia energética para edificios. La implementación de esta directiva varía en cada país, como se ha visto en el primer apartado de este capítulo en el que se veía el distinto grado de implantación, no sólo de la EPBD en la UE sino en general de los distintos códigos a nivel mundial. Ha tenido variaciones dependiendo del país según el empleo de valoraciones o clasificaciones del funcionamiento, en los trámites para edificios que se venden o alquilan, en los modos de considerar edificios residenciales y no residenciales y en el enfoque específico para edificios públicos.

La tendencia general en la mayoría de los países europeos ha sido la aplicación del artículo 7 de la EPBD primero en los edificios nuevos y luego o simultáneamente en los edificios existentes. Además la implementación está más avanzada en los edificios residenciales que en los no residenciales.

La mejora de la eficiencia energética de los edificios es uno de los principales objetivos de la política energética y climática de la UE, tal y como se ha venido comentando en esta

tesis. El sector de la construcción juega un papel crítico en la propuesta de la Comisión Europea para un objetivo de ahorro energético del 30% en 2030 [9]. El rendimiento energético de los edificios, introducido en 2002 (EPBD 2002/91/CE) [10] y revisado en 2010 (EPBD Recast de 2010/31/UE) [11], es el instrumento clave para aumentar la eficiencia energética de los edificios en toda la Unión Europea. El ahorro de energía resultante potencialmente a partir de una correcta aplicación de la Directiva se evalúa que será de al menos 60 Mtep en 2020. La Comisión Europea estima [12] que las ambiciosas políticas de renovación adicionales que se están llevando a cabo en distintos países pueden provocar hasta un 46% de ahorro de energía entre 2021 y 2030.

Los certificados de eficiencia energética (Energy Performance Certificates en inglés, EPC), una parte integral de la EPBD, son un importante instrumento que debe contribuir a mejorar la eficiencia energética de los edificios. El objetivo principal de los EPC es servir como herramienta informativa para los propietarios de edificios, ocupantes y los administradores de la propiedad cuando un edificio o unidad de éste es vendido o alquilado.

Además, como confirma también varios estudios y encuestas, BPIE en 2011 y 2013, los EPC tienen el potencial de ser una fuente importante de información sobre la eficiencia energética del parque inmobiliario y el impacto de medidas de renovación de la UE. En consecuencia, los EPC pueden ser más que una herramienta de información y convertirse en un instrumento eficaz para mapear la eficiencia energética del parque de edificios de un país, para monitorear el impacto de las políticas de construcción o incluso para soportar los requerimientos mínimos de energía dentro del proceso regulatorio.

Este apartado tiene como objetivo evaluar el estado de aplicación de los regímenes de EPC en Europa, teniendo en cuenta los diversos elementos y metodologías usadas en la obtención de EPC en los distintos países de la UE.

### **Calidad de los certificados EPCs**

La introducción del sistema de certificación de eficiencia energética en la primera EPBD (2002/91/CE), no estaba suficientemente apoyada por requisitos de garantía de calidad. Los estados miembros tenían la obligación de introducir un sistema independiente para expedir los certificados por personal capacitado y/o expertos [13] independiente, pero no estaba previsto el control de calidad. La EPBD Recast reforzó los requisitos en esta área, creando una gran oportunidad para mejorar la calidad de los EPCs. Los Estados miembros, eso sí, podrán delegar

la responsabilidad de implementar el sistema de control a un tercero, pero la calidad y la independencia del sistema deben ser asegurados.

La EPBD Recast se suma a los requisitos relativos a los expertos cualificados y/o acreditados independientes que tienen derecho a llevar a cabo la evaluación de la eficiencia energética de un edificio. Los Estados miembros deben tener en cuenta la Directiva 2005/36/CE relativa al reconocimiento de cualificaciones profesionales en el establecimiento de las reglas para la formación y acreditación de expertos. De acuerdo con la EPBD Recast (artículo 17), hay que tener en cuenta en el procedimiento de acreditación la competencia del experto. Por otra parte, los Estados miembros deben velar por las listas de expertos y empresas calificadas y/o acreditados que ofrecen los servicios de certificación, y deben estar a disposición del público con actualizaciones periódicas.

#### Requisitos para expertos cualificados y/o acreditados

Los Estados miembros poseen flexibilidad en el diseño del sistema de formación y/o acreditación de expertos cualificados. Para garantizar un nivel adecuado de cualificación y tener en cuenta la competencia del experto en el proceso de acreditación, hay una gran variedad de requisitos aplicados a nivel nacional o regional (el enfoque regional es seguido por Bélgica, Italia, España y Reino Unido), tales como: requisitos mínimos en relación con un determinado nivel de educación y experiencia profesional, un programa de formación obligatoria y un examen obligatorio, un procedimiento de acreditación y otros, como la introducción de un programa de desarrollo profesional continuo.

En la mayoría de los estados miembros, las competencias de los expertos se diferencian según el tipo de edificio evaluado.

Los expertos cualificados y/o acreditados pueden trabajar por cuenta propia o por cuenta ajena (Art 17, EPBD). Hasta el momento, Dinamarca es el único país que limita a empresas (que están acreditadas) la emisión de certificados EPC.

#### *Requisitos mínimos de educación y/o experiencia profesional*

Requisitos mínimos para el nivel de estudios se aplican en 25 países y Noruega, y requisitos de experiencia profesional en 17 estados miembros y Noruega.

En la mayoría de los países se requiere un título universitario técnico para poder certificar (es decir, ingeniería, arquitectura,...) o una formación que integre los aspectos relacionados con la eficiencia energética en edificios. Dependiendo del país, podría ser

necesaria una experiencia profesional pertinente: normalmente de 2 a 6 años, dependiendo del tipo de certificado de energía y su nivel de educación.

#### *Programas de formación*

Se requieren cursos obligatorios de formación para expertos cualificados en 14 de los 28 países. En algunos casos sólo se requiere en determinadas circunstancias como, por ejemplo, cuando hay una falta de experiencia profesional.

En la mayoría de los países, la capacitación es proporcionada por una variedad de instituciones (incluidas organizaciones privadas de formación). El alcance de la formación está usualmente regulada por el gobierno y puede variar según los distintos tipos de certificados.

La duración y el coste de la formación varían no sólo entre los diferentes estados miembros, sino también a nivel nacional.

#### *Examen obligatorio*

Se requiere un examen obligatorio en 20 de los 28 estados miembros, mientras que en los países con un enfoque regional, el examen sólo se requiere en determinadas regiones.

En la mayoría de los países, el examen se lleva a cabo por las entidades examinadoras autorizadas, a menudo los mismos que llevan a cabo la formación obligatoria. El examen suele ser una combinación de secciones escritas y orales, y puede consistir tanto en conocimientos teóricos como prácticos (por ejemplo en Francia y Malta).

La implementación de la EPBD Recast dio lugar a la introducción en algunos estados miembros de un examen obligatorio para los expertos cualificados (por ejemplo, Francia desde 2012, Bélgica-Flandes desde 2013 y Grecia desde 2014). Al mismo tiempo, la legislación recientemente introducida en Polonia (julio de 2014) y Portugal (diciembre de 2013) suspendió la formación obligatoria y el examen de los expertos, con el fin de proporcionar un mayor acceso a la profesión de certificador energético.

#### *Desarrollo profesional continuo*

El desarrollo profesional continuo es fundamental para mantener a expertos cualificados al día en temas como legislación, herramientas para certificación,... y mejorar sus conocimientos.

Sin embargo, y aunque está creciendo el número de países en los que es un requisito obligatorio, en 8 de los 28 países aún no lo es para la renovación periódica de la licencia necesaria para expertos cualificados que puedan certificar.

Los expertos cualificados tienen que pasar un examen obligatorio en Irlanda (cada 2 años), Bulgaria (cada 3 años) y Lituania (cada 5 años). Se requiere asistir a formación obligatoria en la República Checa (cada 3 años), Francia (cada 5 años) y Croacia (todos los años). En Rumania, para renovar la licencia, se tiene que demostrar la experiencia que se haya tenido (por ejemplo, número de EPCs emitidos).

En Inglaterra y Gales, el organismo de registro de expertos cualificados trabaja con sus miembros para desarrollar planes que cubran las necesidades de cada experto. Los planes deben requerir un mínimo de 10 horas de desarrollo profesional continuo (DPC) por año. En Escocia los evaluadores también deben seguir una formación pertinente para actualizar sus conocimientos en el desarrollo continuo de los servicios EPC.

En Bélgica (en las regiones de Flandes y Valonia) existe un apoyo o asesoramiento a los evaluadores por correo electrónico o teléfono, y tiene como objetivo asesorar en materia de software, metodología, etc.

#### *Procedimiento de acreditación*

Aunque la acreditación de los certificadores es voluntario según la EPBD, se llevó a cabo en la mayoría de los Estados miembros.

En 12 de los 28 Estados miembros, el proceso de acreditación se realiza por órganos del gobierno (es decir, el Ministerio o sus agencias pertinentes) y se basan en el reconocimiento de los resultados del examen obligatorio.

En algunos países (por ejemplo, Croacia, Polonia y Bélgica – región de Valonia), los expertos cualificados necesitan probar que tienen un seguro de responsabilidad civil para completar el procedimiento de acreditación.

En otros países (por ejemplo, Luxemburgo, Polonia, Rumania) la acreditación requiere que los expertos cualificados sean miembros de asociaciones profesionales reconocidas (por ejemplo, colegios de arquitectos, ingenieros, etc.).

En Dinamarca, la acreditación se lleva a cabo por la Danish Accreditation Agency (DANAK). Sólo empresas que siguen la norma ISO 9001 puede ser acreditadas para la

certificación de eficiencia energética de acuerdo con la normativa nacional danesa. Los sistemas de garantía de calidad y todos los demás requisitos que deben cumplir las empresas se verifican de forma anual por el organismo de acreditación. La acreditación de los certificadores de pequeños edificios se lleva a cabo por las asociaciones profesionales.

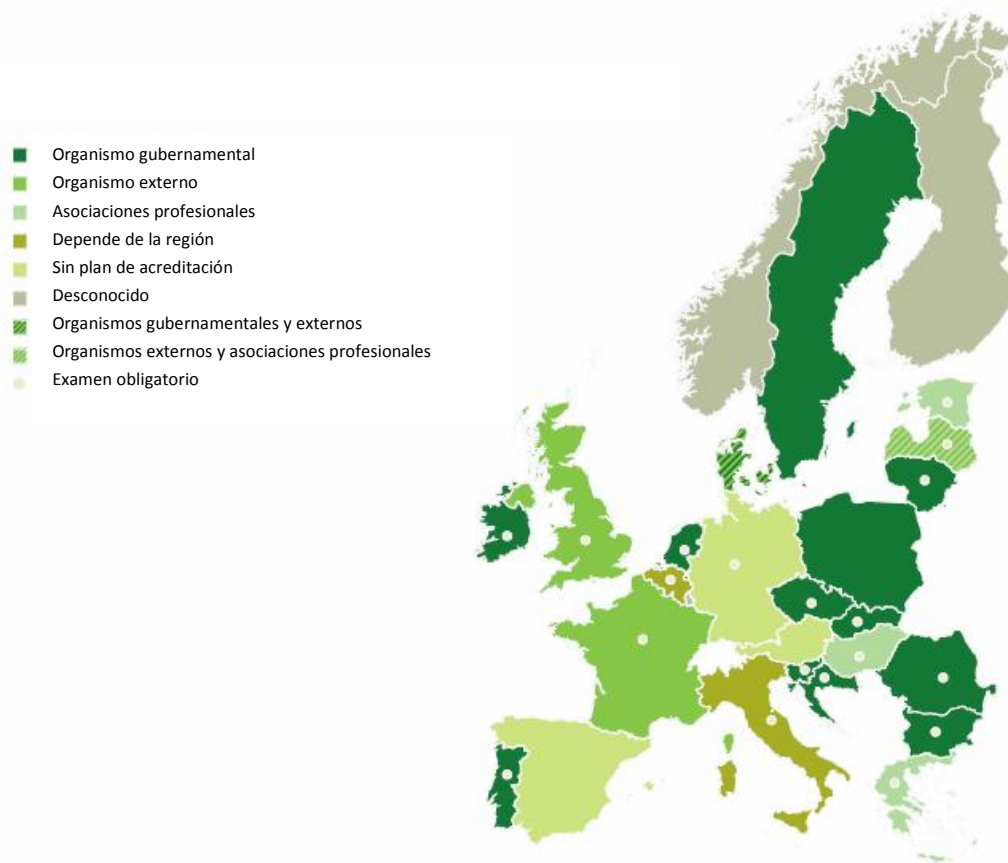


Figura AI.7.-Organismos encargados de la acreditación de expertos cualificados para EPCs en Europa.

En Suecia, los organismos que llevan a cabo la acreditación de los expertos cualificados están a su vez acreditados por el Swedish Board for Accreditation and Conformity Assessment (SWEDAC). El mismo consejo fue, hasta finales de 2013, también responsable de la acreditación de las empresas que tenían derecho a emitir certificados de eficiencia energética. El sistema ha sido cambiado a la responsabilidad personal de un experto certificado en lugar de empresas.

En Hungría y Grecia se lleva a cabo un examen obligatorio por las asociaciones profesionales, que también son responsables del procedimiento de acreditación. En Estonia, los miembros de los Colegios de Ingenieros son parte de la comisión de examen. En Austria, donde no se requiere un examen obligatorio para los expertos cualificados, el procedimiento



de acreditación se basa en la licencia comercial de expertos. Se prevén revisiones al proceso de acreditación para mejorar las pruebas de cualificación de los expertos de acuerdo con los requisitos de la EPBD Recast.

Obsérvese que en Italia se requiere un examen sólo en algunas regiones. En Reino Unido, no es obligatorio el examen en Escocia.

En 3 de los 28 países, los organismos responsables de los procedimientos de acreditación son organismos externos, es decir, instituciones o empresas que tienen un acuerdo con el gobierno:

- En Francia, el comité de acreditación francés (COFRAC) es responsable de la acreditación de organismos de certificación (empresas privadas o instituciones públicas), que están a cargo de la capacitación de expertos. También es responsable de la actualización de la lista de expertos que debe encontrarse a disposición del público.
- En Letonia, el procedimiento de acreditación puede llevarse a cabo tanto por organismos externos (Centrs konsultacijū ABC) como por asociaciones profesionales (por ejemplo la Asociación de Ingenieros de Letonia de Gas, Calefacción y Tecnología del Agua, y otros).
- En Reino Unido, se les requiere a los certificadores de eficiencia energética (EPC) demostrar su competencia, ya sea por estar en posesión de un título reconocido de una entidad adjudicadora por el gobierno o por llevar a cabo la acreditación del aprendizaje práctico previo (APEL), de conformidad con las normas nacionales.

En Alemania, no existe un procedimiento oficial de acreditación. Sin embargo, los expertos cualificados pueden obtener una acreditación voluntaria a través de las asociaciones profesionales y organismos externos. Esas organizaciones tienen una normativa interna y unos requisitos de acreditación (por ejemplo, KfW certificadores) que deberán cumplir para mantener su acreditación. Los expertos cualificados asumirán la responsabilidad por la calidad de los resultados de la certificación (con riesgo de sanciones).

Italia, Bélgica y España siguen un enfoque regional para el procedimiento de certificación.

*Listados certificadores EPC*

De acuerdo con el art. 17 de la directiva EPBD, los Estados Miembros serán los responsables de que tanto las listas de expertos cualificados y/o acreditados como las listas de empresas acreditadas que ofrecen los servicios de esos expertos (dependiendo del país será una o ambas cosas), sean actualizadas periódicamente y estén a disposición del público.

La mayoría de Estados miembros cumplen satisfactoriamente esta obligación y es pública la lista de expertos y organizaciones cualificadas y/o acreditados para la evaluación de eficiencia energética de edificios.

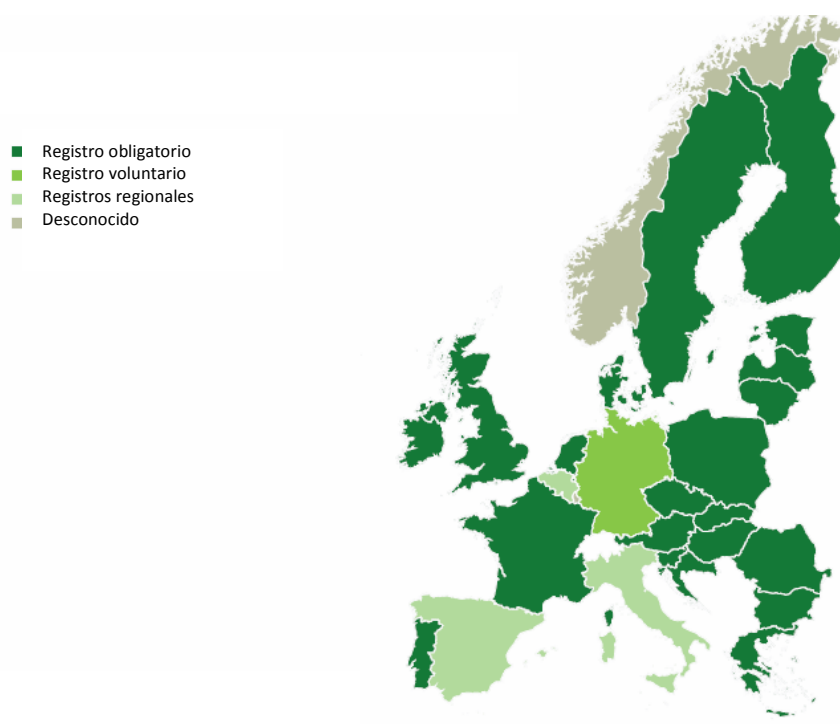


Figura AI.8.- Registro de expertos cualificados y/o acreditados en Europa.

En Alemania, en lugar de un registro central, hay varias bases de datos voluntarias de certificadores. En España e Italia no existen registros centrales.

Se detalla a continuación un resumen de los requerimientos a los certificadores a lo largo de los distintos países europeos en la tabla AI.1.

Tabla AI.1.- Requisitos mínimos de expertos cualificados y/o acreditados (persona física) en Europa.

REQUISITOS MÍNIMOS (IE GRADO CORRESPONDIENTE, EXPERIENCIA PROFESIONAL)			CAPACITACIÓN / FORMACIÓN	EXAMEN OBLIGATORIO	DESARROLLO PROFESIONAL CONTINUO	PROCEDIMIENTO DE ACREDITACIÓN
1	AT	Se requiere formación técnica o capacitación equivalente	Formación voluntaria	No		No se requiere acreditación adicional
2	BE	Se requiere título de ingeniería o experiencia profesional de al menos dos años en Valonia y Flandes	Formación voluntaria u obligatoria	Sí	Flandes y Valonia: el apoyo a los evaluadores (FAQ, línea telefónica,...)	Acreditación basada en los resultados del examen. En Valonia se requiere poseer un seguro.
		Sin requerimientos mínimos en Bruselas				
3	BG	Se requiere educación técnica y experiencia profesional de 2-3 años	Formación obligatoria	Sí	Cada 3 años los asesores necesitan pasar un examen para renovar la licencia	Acreditación basada en los resultados del examen
4	CZ	Experiencia profesional de entre 3 y 6 años dependiendo del nivel de estudios	Formación voluntaria (4)	Sí	La formación obligatoria cada tres años después de la expedición de la licencia	Acreditación basada en los resultados del examen
5	DE	Se requiere educación técnica o capacitación pertinente (1) y por lo menos dos años de experiencia profesional	Formación obligatoria (si no se posee grado de ingeniería)	Sí (si no se posee grado de ingeniería)		No a lugar (declaración jurada de expertos)
6	DK	Se requiere título de ingeniería y la experiencia profesional de al menos 2-6 años (1)	Formación voluntaria	No		Acreditación requerida. Sólo las empresas que siguen las normas EN ISO 9001 pueden ser acreditadas
7	EE	Se requiere título de ingeniería y experiencia profesional de al menos dos años	Formación obligatoria	Sí		Acreditación basada en los resultados del examen
8	ES	Se requiere título de ingeniería	Formación voluntaria	No		Acreditación no requerida
9	FR	Al menos dos años de estudios iniciales en el campo correspondiente	Formación obligatoria	Sí	Cada 5 años, el asesor está obligado a asistir a 3 días de formación obligatoria para renovar su licencia	Acreditación basada en los resultados del examen
10	GR	Se requiere título de ingeniería y la experiencia mínima de al menos 2 años	Formación obligatoria	Sí	Cada 10 años el asesor debe renovar su licencia probando su experiencia	Acreditación basada en los resultados del examen o directamente a través de asociaciones profesionales.
11	HR	Se requiere título de ingeniería y/o al menos 5 años de experiencia profesional	Formación obligatoria	Sí	Cada 3 años el evaluador necesita renovar su licencia probando la asistencia a la formación profesional que es anual	Acreditación basada en los resultados del examen
12	HU	Se requiere diplomatura y al menos un año de	Formación voluntaria	Sí	No se considera	Acreditación basada en los resultados
13	IE	Se requiere estudios técnicos o formación equivalente	Formación voluntaria u obligatoria (1)	Sí	Cada 2 años el asesor debe pasar un examen para renovar su licencia	Acreditación basada en los resultados del examen
14	IT	Se requiere estudios técnicos o formación equivalente	Formación voluntaria u obligatoria (2)	Sí (2)		Las reglas dependen de la región
15	LV	Se requiere formación técnica y al menos 2 años de experiencia profesional	Formación voluntaria	Sí		Acreditación basada en los resultados del examen
16	LT	Se requiere título de ingeniería y la experiencia profesional de al menos 3 años	Formación obligatoria	Sí	Cada 5 años el asesor debe pasar un examen para renovar su licencia	Acreditación basada en los resultados del examen
17	NL	Sin requisitos mínimos	Formación voluntaria	Sí		Acreditación basada en los resultados del examen
18	NO	Se requiere licenciatura y (en algunos casos) por lo menos dos años de experiencia profesional	Formación voluntaria	No		Acreditación requerida sólo para algunos tipos de evaluación
19	PL	Título de ingeniería requerida y/o capacitación pertinente	Formación voluntaria	No		Acreditación tras la aprobación de la competencia
20	PT	Se requiere el título de arquitecto o ingeniero y la experiencia profesional de al menos 5 años	Formación voluntaria	Sí		Acreditación basada en los resultados del examen
21	RO	Se requiere título de ingeniería y la experiencia profesional de al menos 3 años	Formación obligatoria	Sí	Cada 5 años el asesor debe renovar su licencia (por ejemplo probando su experiencia)	Acreditación basada en los resultados del examen
22	SK	Se requiere título de ingeniería y la experiencia profesional de al menos 3 años	Formación voluntaria	Sí		Acreditación basada en los resultados del examen
23	SI	Se requiere título de ingeniería y/o experiencia profesional de al menos 2 años	Formación obligatoria	Sí		Acreditación basada en los resultados del examen
24	SE	Se requiere formación técnica y experiencia profesional de al menos 5 años	Formación voluntaria	Sí	Cada 5 años el asesor debe pasar un examen para renovar su licencia	Acreditación requerida tras la aprobación de la competencia
25	UK	Sin requisitos mínimos	Formación obligatoria (2) (3) salvo en Escocia	Sí (2)	En Inglaterra y Gales: un mínimo de 5 a 10h anuales de Desarrollo Profesional	El procedimiento de acreditación depende de la región

Nota: No hay datos disponibles para Finlandia, Chipre, Malta y Luxemburgo.

(1) Depende del tipo de acreditación y/o nivel de estudios

(2) Depende de la región

(3) Sin necesidad de formación si la calificación es reconocido por un organismo de acreditación

(4) La capacitación obligatoria tras ser concedido el permiso

## Metodología y herramientas para certificados de eficiencia energética

### *Metodología*

La EPBD Recast (Art.3) ofrece orientación a los Estados miembros en relación con la metodología de cálculo del EPC, de conformidad con las normas de la UE. El anexo I de la EPBD establece que la eficiencia energética de los edificios puede ser evaluada en base a la calculada o al consumo real de energía.

Mientras que la metodología basada en la calculada tiene en cuenta las necesidades de energía primaria de los edificios sin incluir todas las pérdidas derivadas de la producción de energía, la metodología centrada en el consumo real de energía se basa generalmente en la energía aportada a los edificios y, por tanto, incluye los comportamientos de los usuarios y el mal funcionamiento potencial de algunos equipos. Una calificación según el consumo real puede ser apropiada para edificios existentes en los que un cambio de los hábitos de usuarios es poco frecuente, y el comportamiento del usuario, y por lo tanto el uso tipo, bastante estable.

Entre los 28 países de la UE, 14 han adoptado la metodología exclusivamente basada en el consumo calculado. En otros países, se prevén tanto los consumos reales como calculados, dependiendo principalmente del tipo o la edad del edificio.

En algunos países, la certificación de eficiencia energética se aplica sólo para uso no residencial (por ejemplo, Eslovenia) u otro tipo específico de edificios (por ejemplo, en Inglaterra y Gales, donde los certificados se aplican sólo para los grandes edificios de propiedad pública y privada de más de 500 m<sup>2</sup>, frecuentados por el público). En otros (por ejemplo, Estonia, Letonia) se extiende la evaluación del consumo real de energía a todos los edificios existentes, mientras que, para los edificios de nueva construcción, se calcula el consumo de energía. En Suecia, se lleva a cabo una certificación basada en consumo calculado antes de la construcción de un nuevo edificio, y es obligatorio emitir un EPC basado en el consumo de energía real cuando se termina.

La elección de la metodología y el indicador de eficiencia energética (es decir, la etiqueta energética y escala continua) que se presentarán en el certificado de eficiencia energética determinará en gran medida la credibilidad, reproducibilidad y el coste del EPC.

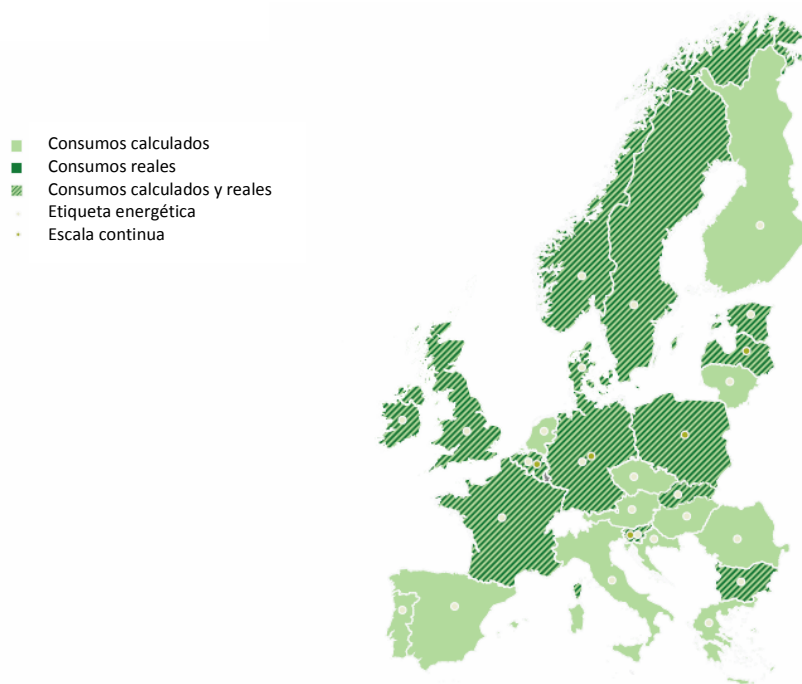


Figura AI.9.- Información general de las metodologías utilizadas en los países europeos para la evaluación de la eficiencia energética de los edificios.

En la mayoría de los países, la indicación del rendimiento energético se introduce en la etiqueta energética, mientras que en otros (Bélgica - Flandes, Alemania, Letonia, Luxemburgo, Polonia y Eslovenia), se utiliza una escala continua. Por ejemplo, en Alemania y Eslovenia, por lo general se utiliza la escala continua, pero se proporcionan además desde 2014 etiquetas energéticas para los edificios residenciales. En Luxemburgo se utiliza la escala continua para edificios no residenciales, mientras que se usa la etiqueta de energía para edificios residenciales.

#### *Software*

Para dar apoyo al proceso de cálculo, la metodología implementada en la mayoría de países se da en forma de una herramienta informática, de un software. En 4 países (Luxemburgo, Bélgica, Malta y Lituania) sólo puede ser utilizado el software público para el cálculo de los indicadores energético. En 12 países, se aceptan ambos tipos de software, públicos y comerciales (que en la mayoría de los casos son aprobados por el gobierno). De esta forma los expertos cualificados pueden tener distintas opciones en virtud del propósito, preferencias, disponibilidad (es decir, precios) y la calidad del software. Lo más habitual es que el software comercial esté contrastado por algún organismo acreditado para cumplir con el algoritmo y las normas nacionales (proporciona la misma entrada al programa y comprueba si

la desviación con respecto a los resultados esperados se encuentra dentro de un margen determinado). En 12 países, sólo se proporciona un software comercial, y de ellos, en 5 países (Suecia, Eslovaquia, República Checa, Hungría y Croacia), no se solicita la validación de dicho software.

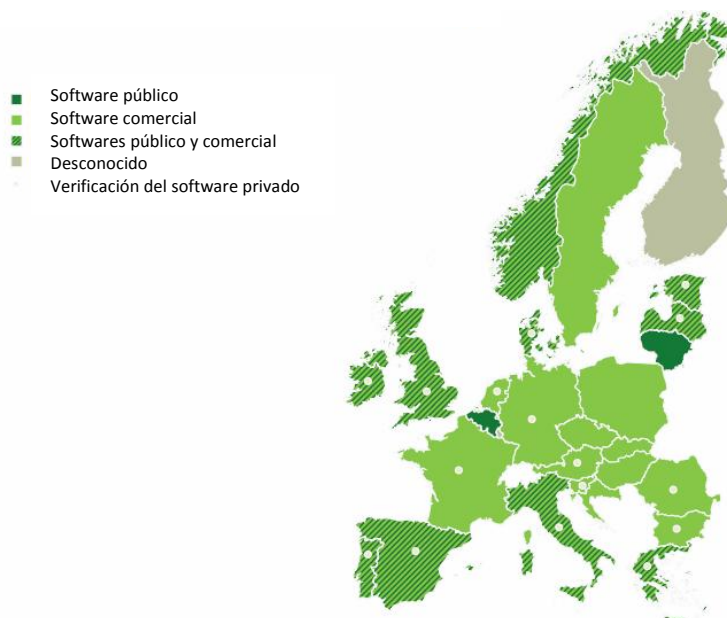


Figura AI.10.-Tipos de software usados en Europa para el cálculo de la eficiencia energética.

En Italia, el cálculo de los EPC, a nivel regional, se realiza utilizando software comercial certificado de acuerdo con el cumplimiento del algoritmo nacional y las normas técnicas. Para edificios de viviendas existentes (en algunas regiones), podrá ser usado un software público simplificado [CTI 2013].

#### *Datos de entrada*

La calidad de los datos de entrada a usar en el proceso de cálculo es determinante en la calidad de los resultados. Para obtener información suficiente para calcular la eficiencia energética, un experto cualificado necesita tener acceso al menos a la documentación completa del proyecto y/o llevar a cabo una inspección en los edificios (cuando sea posible).

En 19 de los 28 estados miembros, la visita in situ es un requisito obligatorio para emitir un certificado de eficiencia energética (para los edificios existentes). Sin embargo, no es necesario en 6 países (Austria, República Checa, Estonia, Italia, Polonia y Alemania). Disponer de suficientes datos (por ejemplo, la documentación completa del proyecto) se considera suficiente para evaluar la eficiencia energética de los edificios sin visita in situ. A menudo, el



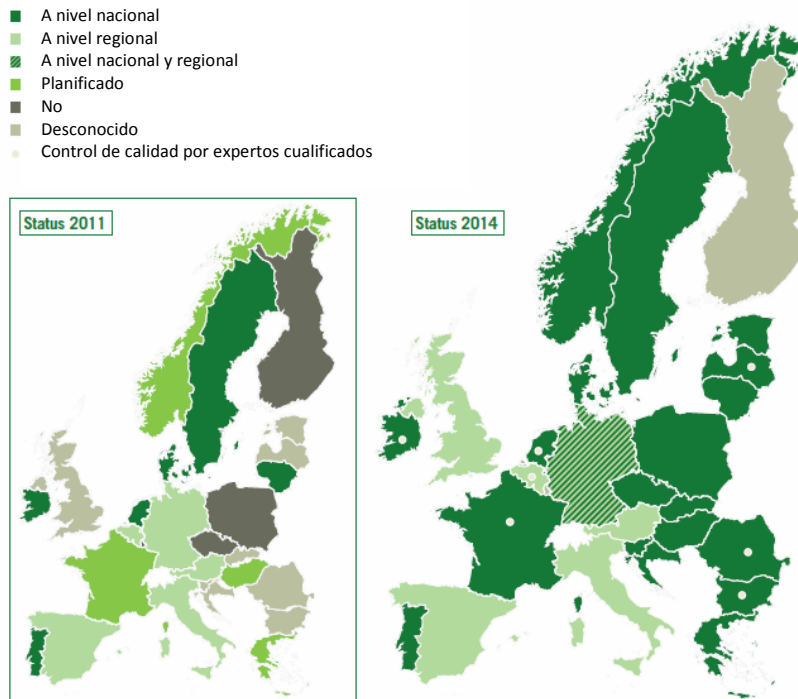


Figura AI.12.- Esquemas de control de calidad existentes y previstos.

La fecha límite para la aplicación de los sistemas de control de calidad independientes se estableció en la EPBD para el 9 de enero de 2013.

La mayoría de los Estados miembros han transpuesto formalmente los objetivos del artículo 18 de la EPBD a la legislación nacional (ver: Fig. 2.10).

En varios países, por ejemplo, Grecia, Hungría, Letonia, República Checa, Croacia, Alemania, Rumania y Eslovenia, el sistema se ha introducido o sólo revisado en 2013-2014. Por lo tanto, todavía está en las primeras etapas de ejecución.

Las normas para el control de la calidad de los EPCs se están definiendo actualmente, por ejemplo, en Letonia y República Checa (para edificios existentes).

En Italia, el sistema de control está ahora en proceso de revisión y se prevé pasar la responsabilidad de regional a nivel nacional. En Polonia, el marco legislativo para un sistema de control se acordó en junio de 2014.



Tabla A1.2. – Sistemas de control de calidad de EPC en Europa.

ESTADO			NIVEL	ORGANIZACIÓN O AGENCIA A CARGO	CONTROL DE CALIDAD EN SOFTWARE DE CÁLCULO	USO DE BASE DE DATOS EPC PARA CONTROL DE CALIDAD INDEPENDIENTE	MÉTODO DE CONTROL DE CALIDAD
1	AT	Si	Regional	Organismo gubernamental regional	Si	Si, en algunas regiones	Depende de la región; auditoría de escritorio para un determinado porcentaje de EPC y todos los edificios subvencionados: resultados y datos de entrada; control in situ para un número limitado de EPCs; Base de datos de EPC central se usa para el control de calidad
2	BE	Si	Regional	Organismo gubernamental (regiones de Flandes y Valona) u Organismo Independiente (sólo en la región de Bruselas)	Si, en algunas regiones	Si, en algunas regiones	Depende de la región; Auditoría de escritorio del 1% de EPC emitidos: datos de entrada, resultados y recomendaciones; visita in situ para un número limitado de EPCs
3	BG	Si	Central	Organismo gubernamental	Si	Si	Auditoría de escritorio del 100% de EPCs emitidos: datos de entrada y resultados; visitas in situ: 4% en 2013
4	CZ	Si	Central	Organismo gubernamental		Planificado	Auditoría de escritorio del 10.5% de EPC emitidos (muestreo aleatorio): análisis de datos de entrada y resultados; en la práctica 1% de los EPC se comprueban; todas las nuevas construcciones que se cotejan con las recomendaciones del proyecto (a través de la visita in situ); sistema de control de calidad de los edificios existentes se está definiendo actualmente
5	DE	Si	Central /regional	Organismo gubernamental central y regional	Si, en algún software.	Si	Auditoría de escritorio de muestra estadísticamente significativa de EPC (muestreo aleatorio), basado en la información proporcionada por el experto cualificado; la verificación detallada de los EPC se implementa a nivel regional
6	DK	Si	Central	Organismo gubernamental y acreditados		Si	Auditoría de escritorio del 5% de EPCs (muestreo aleatorio): datos de entrada y resultados; una revisión técnica y la re-certificación de 0,5%; re-certificación por un experto nombrado especialmente por el 0,25% de EPC emitidos
7	EE	Si	Central	Organismo gubernamental		Si	Auditoría de escritorio de cierto porcentaje de EPCs (muestreo aleatorio): datos de entrada y resultados
8	EL	Si	Central	Organismo gubernamental		Si	Auditoría de escritorio del 2% de EPCs emitidos (muestreo aleatorio): datos de entrada y resultados; visita in situ únicamente si se considera necesario; el chequeo se realiza también cuando el número de EPCs emitidos por un auditor es muy alto y cuando la clase energética de los edificios existentes es B o superior
9	ES	Si	Regional	Organismo gubernamental regional		Si, en algunas regiones	Depende de la región
10	FR	Si	Central	Organismo independiente		Yes	El organismo de certificación tiene que comprobar al menos 8 informes, representativos del trabajo del experto, durante los tres primeros años de actividad de dicho experto cualificado (auditoría de escritorio detallada); y al menos un EPC con una visita in situ del edificio para cada ciclo de certificación (5 años) de todos los expertos
11	HR	Si	Central	Organismo independiente		Planificado	Auditoría de escritorio del 3% de EPCs emitidos (muestreo aleatorio por tipo de edificio): datos de entrada, resultados, y si el lugar es relevante visita in situ
12	HU	Si	Central	Asociaciones profesionales	Si	Yes	Auditoría de escritorio del 2% de EPCs emitidos (muestreo aleatorio): datos de entrada y resultados; visitas in situ para 0,5% de EPCs (se examina sólo exterior del edificio)
13	IE	Si	Central	Organismo independiente	Si	Yes	Verificación automática de la calidad en la base de datos EPCs; Auditoría detallada de escritorio de 0,5% EPC emitidos: una amplia documentación y auditorías práctica
14	IT	Si	Regional	Organismo gubernamental regional		Si, en algunas regiones	En algunas regiones los controles automáticos de calidad se realizan en la base de datos EPC, en otros se adoptan controles aleatorios o chequeos sin incluir los valores de su rango, o control formal de la información por parte de terceros
15	LV	Si	Central	Organismo gubernamental central e	Si	Planificado	Parte de la información se verificará automáticamente en la base de datos EPC, auditorías de escritorio y visitas in situ si fuera necesario
16	LT	Si	Central	Organismo gubernamental	Si	Si	Verificación automática de la calidad en la base de datos EPC; auditoría de escritorio de 0,5% de EPCs emitidos (muestreo aleatorio); datos de entrada y resultados. control in situ para un número limitado de EPCs; auditoría detallada se realiza cuando los resultados están fuera de rango, el EPC tiene clase muy alta, etc.
17	NL	Si	Central	Organismo gubernamental		Si	El sistema de control se lleva a cabo bajo la directriz BRL9500 e incluyó la verificación de un cierto número de EPCs emitidos por los evaluadores cualificados (verificación detallada de la documentación y visita del sitio). Comprobación se realiza para el 2% EPCs emitidos para uso residencial y el 5% para los edificios no residenciales por evaluador
18	PL	Si	Central	Gobierno central		Planificado	Parte de la información se verificará automáticamente desde la base de datos EPC, auditorías de escritorio, visitas in situ si fuera necesario
19	PT	Si	Central	Organismo gubernamental	Si	Si	Chequeo de escritorio del 2% de EPCs emitidos (muestreo aleatorio basado en la base de datos EBP): datos de entrada y resultados (ninguna información adicional se necesita del experto); verificación de datos completa y visita in situ de los EPCs seleccionados: datos de entrada, resultados y recomendaciones
20	RO	Si	Central	Organismo gubernamental		Si	Auditoría de escritorio de muestra estadísticamente significativa de EPCs emitidos (muestreo aleatorio a partir de las EPCs emitidos en el programa nacional de rehabilitación): datos de entrada, resultados y recomendaciones; sin embargo, aún no se está realizando
21	SK	Si	Central	Organismo gubernamental		Si	Auditoría de escritorio de muestra estadísticamente significativa de EPCs emitidos (muestreo aleatorio): datos de entrada, resultados y recomendaciones
22	SI	Si	Central	Organismo gubernamental	Si	Planificado	Auditoría de escritorio de 3% EPCs emitidos (muestreo aleatorio): datos de entrada, resultados y recomendaciones; se encuentra en desarrollo un protocolo de datos detallado para el control de calidad
23	SE	Si	Central	Organismo gubernamental		Si	Comprobación automática de los datos de entrada y salida en la base de datos, auditoría de escritorio detallada (controles aleatorios en caso de valores extremos) de al menos el 1% EPCs emitidos

El 21 de marzo de 2014, los servicios de la Comisión Europea pidieron a los estados miembros información acerca de la actividad en 2013 de los sistemas de control independientes utilizando una plantilla común. Hasta la fecha de escritura de esta tesis, 19 estados miembros han respondido a la solicitud de la Comisión. Los resultados se presentan en la tabla AI.3.

Tabla AI.3.- Control de calidad de EPCs en 2013 en toda Europa.

	País	EPCs totales emitidos en 2013	Tamaño de la muestra de verificación de EPCs	Opción A	Opción B	Opción C	Otros chequeos	
1	Austria	40 220	13.2%	9.5%	10.8%	1.0%	14.3%	
2	Bélgica							
	Flandes	142 208					1.5%	
	Valonia	67 193	17.5 %	17.5 %	4.5%	0.3%		
	Bruselas	32 075	1% (1)			0.4%	0.6%	
3	Bulgaria	694	63.1%	63.1%	32.1%	5.0%	0%	
4	Croacia	13 000	Sistema de control de calidad aún no realizado					
5	Chipre	3 851	24.2%	3.6%	0.5%	20.1%		
6	República Checa	21 711 (2)	5.2%					
7	Dinamarca	57 151	1.2%	0.5%	0.5%	0.2%	0.0%	
8	Estonia	1 614	0.6%				15.5%	
9	Francia	850 000 (3)	1%					
10	Alemania	El control de calidad independiente se introdujo el 01 de mayo 2014						
11	Grecia	228 837	0.5%	0.0%	0.5%	0.01%	1.1%	
12	Hungría	91 912	100%	100%	2.5%	0.5%		
13	Italia (11)	419 650	6.4%	6.3%	1.0%	0.1%	0.3%	
14	Irlanda	104 785	0.3%				0.4%	
15	Letonia	1 000	Control independiente de EPC se lleva a cabo desde 2014					
16	Lituania	39 995	100%	98.4%	1.4%	0.0%	0.0%	
17	Luxemburgo	43	100%			100%		
18	Eslovaquia	14 019	0.7%	0.40%	0.4%		100%	
19	Suecia	59 000	Control independiente de EPC se lleva a cabo desde 2014					

(1) De enero a marzo: 142 EPCs emitidos, a partir de marzo de 2013: 28 EPCs emitidos por mes.

(2) Sólo certificados registrados en la base de datos EPC.

(3) De abril de 2013 a Marzo de 2014,

#### *El muestreo aleatorio*

La EPBD Recast no aporta una definición y/o metodología precisa para tomar muestras de un "porcentaje estadísticamente significativo" de certificados de eficiencia energética para ser verificados. Antes de que la EPBD Recast saliera, se tuvo en cuenta la posibilidad de incluir un porcentaje de certificados a revisar, en concreto un 0.5%, pero finalmente no fue incluido en el texto de la directiva.

La metodología del proceso de muestreo aleatorio varía entre los estados miembros. Los principales enfoques que existen son los siguientes:

- Selección de un porcentaje estadísticamente significativo de todos los certificados de eficiencia energética, basados en una muestra aleatoria de todos los EPCs emitidos.
- Selección de un porcentaje significativo del total de los certificados de eficiencia energética basado en un muestreo aleatorio de los EPCs emitidos por cada expertos cualificado.

Los registros EPC juegan un papel clave en el diseño de los sistemas de control de calidad en toda Europa. El establecimiento de los registros de EPC, que se recomienda, pero no son obligatorios de acuerdo con la EPBD, estaba justificado en muchos países por la necesidad de un sistema de control independiente. Los registros de EPC se asegurarán de que todos los EPCs emitidos tienen la misma probabilidad de ser seleccionados para el control de calidad.

La muestra "estadísticamente significativa" de los EPCs para el control de calidad varía entre los estados miembros, en función de las herramientas utilizadas y el nivel de control de calidad realizado (ver tabla AI.3.).

Además de la toma de muestras y/o verificación de EPCs con "valores fuera de rango" al azar, se puede realizar una auditoría específica para determinados tipos de edificios, como los edificios subvencionados con fondos públicos (por ejemplo en Austria y Grecia), edificios con indicadores de rendimiento de alta energía (por ejemplo en Lituania) y otros. La mayoría de países también llevan a cabo una auditoría adicional del EPC en caso de quejas de los clientes.

En 15 de los 28 Estados miembros se realiza una simple auditoría de calidad de EPC con base a la información recopilada en la base de datos (soporte informático del certificado EPC entregada) con la información del certificado EPC, sin información adicional de los expertos cualificados. Se realiza tanto de forma automática (es decir, control de plausibilidad de los valores extremos) como de forma manual por una persona cualificada. En algunos países, por ejemplo, Irlanda, Reino Unido, Hungría y Eslovaquia, el proceso de validación de datos iniciales de ciertos campos de datos se lleva a cabo antes de presentar el certificado EPC en el software de cálculo y/o base de datos EPC (es decir, el protocolo de datos digital). Un enfoque similar se está desarrollando actualmente en Eslovenia y Letonia.

Alemania introdujo un sistema de control independiente en 2014. Una muestra estadísticamente significativa de los certificados serán seleccionados al azar del registro de

EPCs, que consiste, entre otras cosas, en el número de identificación del EPC y los datos de contacto de los evaluadores de dicho EPC. Los controles en todos los niveles sólo pueden llevarse a cabo después de que el experto cualificado responsable del EPC seleccionado haya proporcionado información adicional. Por lo tanto, se requiere a los expertos cualificados que almacenen todos los datos relevantes durante al menos dos años después de la emisión del EPC.

Una auditoría detallada de los certificados EPC pretende verificar los datos de entrada, resultados y recomendaciones. Esto se lleva a cabo sobre la base de la información adicional recibida de expertos cualificados como documentación del proyecto y visitas in situ. En algunos casos (por ejemplo en Dinamarca, Irlanda, Reino Unido, Bulgaria), una auditoría detallada tiene en cuenta el proceso de re-certificación. En la re-certificación, un auditor de energía intentará recrear un EPC utilizando los datos recogidos durante el proceso de evaluación.

En la mayoría de los países, las revisiones de calidad se realizan a aquellos certificados que muestran inconsistencias en la primera fase del control de calidad. De lo contrario, la comprobación se basa en un muestreo aleatorio de lo general hasta el 0,5% de los EPCs emitidos.

No siempre es obligatorio para la auditoría detallada una visita in situ. En algunos estados miembros (por ejemplo en Estonia y Grecia) sólo son necesarias en circunstancias excepcionales. En Austria, sin embargo, se harán obligatorias en el futuro para un importante porcentaje de los edificios, controlado por un organismo independiente (la propuesta es de 0,5%, pero no hay una decisión final, y la proporción puede ser diferente en cada región).

En Bélgica (en las regiones de Valonia y Flandes), Francia, Portugal, Rumanía, Holanda y Escocia, el control de calidad de EPCs se basa en la verificación de un número de certificados por expertos cualificados. Aunque el método de muestreo difiere, el número de los certificados por evaluador a ser verificados anualmente debe ser estadísticamente representativo.

Ejemplos de sistemas de control de calidad basados en la comprobación de un muestreo significativo de los certificados por expertos cualificados:

- Francia: El organismo de certificación tiene que comprobar al menos 8 informes, representativos de la labor del experto cualificado durante los tres primeros años de su actividad y al menos un EPC con una visita in situ al edificio para cada ciclo de certificación (5 años) de todos los expertos. El número total de EPCs comprobados en base anual es de aproximadamente 1% de todos los EPCs emitidos.
- Holanda: El sistema de control se lleva a cabo bajo la directriz BRL9500 e incluye la verificación de un cierto número de los EPCs emitidos por los evaluadores cualificados (verificación detallada de la documentación y visita al sitio). Se realiza la comprobación del 2% de las EPCs emitidos para uso residencial y el 5% para los edificios no residenciales por asesor.
- Escocia: Organizaciones acreditadas auditan el 2% de todos los EPC creados por sus asesores registrados.
- Portugal: El control de expertos cualificados está a cargo de ADENE, que también gestiona el registro central. Ese control se centra en los primeros EPCs emitidos por los expertos, visitas sobre el terreno, y la selección aleatoria de EPCs con el fin de comprobar los procedimientos y la información suministrada. No hay un número mínimo de EPCs a comprobar de cada experto cualificado, aunque puede variar de 0,5% a 4,0% de acuerdo con el nivel de evaluación.

#### *Organismos encargados del control de calidad EPC*

De acuerdo con la EPBD (artículo 18), los estados miembros pueden delegar la responsabilidad de la implementación de un sistema de control de calidad. Sin embargo, necesitan satisfacer los criterios de ser "independiente" y cumplir con los requisitos del proceso de verificación.

Hay cuatro países (Italia, España, Austria y Reino Unido) que siguen un enfoque regional en relación con el control de calidad de los certificados de eficiencia energética. Por lo tanto, la responsabilidad sobre el sistema de control recae en el gobierno regional. En Alemania, el primer nivel de control se lleva a cabo a nivel central por el Instituto Alemán de Tecnología de la Construcción (DIBt), pero el control detallado es responsabilidad de los gobiernos regionales.

En 14 de los 28 Estados miembros la responsabilidad de realizar los controles de los certificados de eficiencia energética es competencia del gobierno central, que podría ser realizada por el órgano ministerial pertinente o su Agencia Ejecutiva (como por ejemplo en Bulgaria, Dinamarca, Finlandia, Grecia, Irlanda, Portugal, Rumania y los Países Bajos), el órgano de control del Estado (como por ejemplo en la República Checa, Estonia, Alemania y Eslovaquia) y/o el apoyo de un experto en energía nombrado por el Ministerio (como por ejemplo en Eslovenia y Noruega).

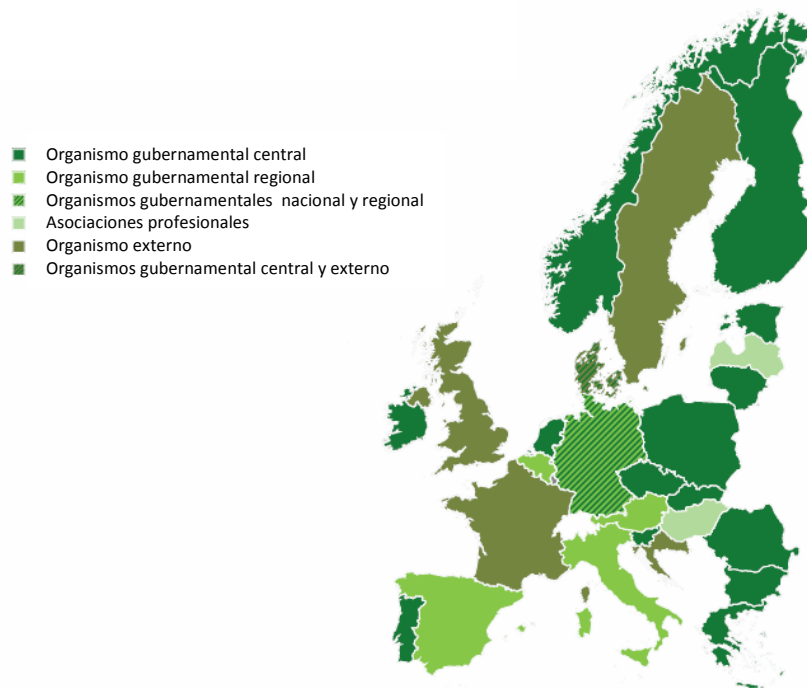


Figura AI.13.- Organismos responsables de la realización de controles de calidad de certificados de eficiencia energética.

En Hungría y Letonia, la competencia para el control de calidad de EPCs está en manos de la organización que lleva a cabo la acreditación de los expertos cualificados. Esta organización, en ambos casos, es el colegio profesional de ingenieros y arquitectos.

En 5 de los 28 Estados miembros existe un tercer organismo u organismo externo responsable de los controles de calidad. En Gran Bretaña, Francia y Suecia, son los organismos responsables de la acreditación de expertos cualificados. En Dinamarca, en paralelo con el sistema de control de calidad realizado por el órgano de gobierno, empresas acreditadas siguen un sistema de garantía interna de la calidad basado en DS/EN ISO 9001.

### Penalizaciones a expertos cualificados

Para mejorar la efectividad de la implementación, la EPBD Recast (artículo 27) establece que “los estados miembros determinarán el régimen de sanciones aplicable a las infracciones de la normativa. Los estados miembros adoptarán todas las medidas necesarias para garantizar que las sanciones, efectivas, proporcionadas y disuasorias, se apliquen”.

Se consideran, a continuación, sólo las sanciones a expertos cualificados por el incumplimiento de la EPBD, esto es, baja calidad detectada en la comprobación de EPCs, baja reproducibilidad de la información del certificado de eficiencia energética, o presentación de información falsa en relación con el certificado de eficiencia energética.

La introducción de sanciones por expertos cualificados y/o acreditados siguió a la implementación de sistemas de control de calidad en la legislación nacional.

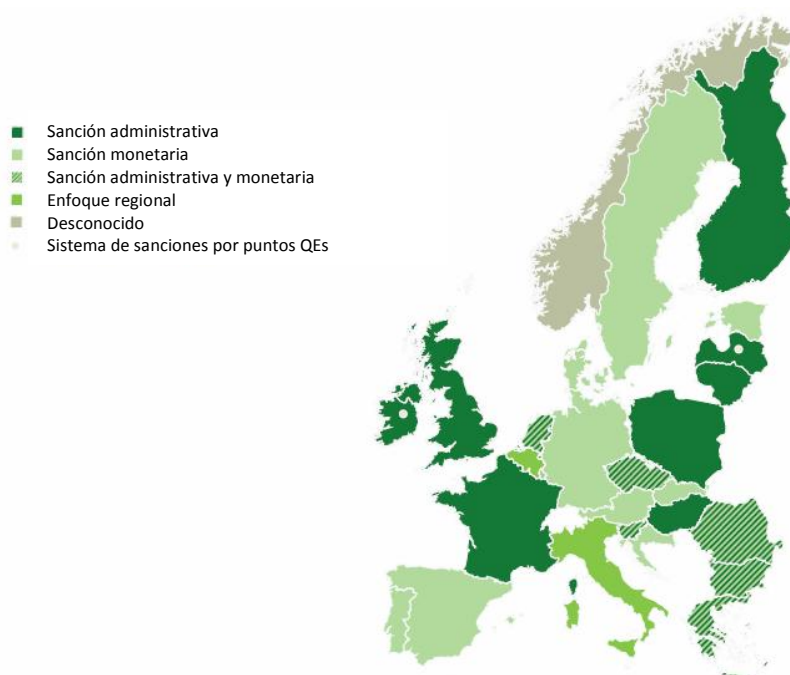


Figura AI.14.- Penalizaciones a expertos y/o empresas cualificadas por baja calidad de EPCs emitidos.

En algunos países, el sistema de penalizaciones está definido por la legislación nacional, pero el proceso de aplicación es regional. En Italia, por ejemplo, algunos organismos regionales adoptan directamente al enfoque nacional, mientras que otros han definido sus propias reglas (en principio más restrictivas que las nacionales).

*Sanciones administrativas*

En 15 de los 28 Estados miembros, se prevén sanciones administrativas a expertos/empresas cualificadas y/o acreditados por el incumplimiento de la EPBD. Esto puede incluir: un procedimiento de aviso (en Finlandia), formación obligatoria (por ejemplo en Bélgica -Valonia), la suspensión periódica de la licencia (por ejemplo en Grecia y Hungría hasta 3 años y en Portugal hasta 2 años), y la pérdida de la acreditación (por ejemplo en Francia, República Checa República, Chipre, Lituania y Polonia). Hasta la fecha la sanción administrativa más popular que se está emitiendo en los estados miembros es una advertencia oficial a los expertos cualificados y re-certificación de dicho EPC.

En Irlanda y Letonia, se ha introducido un sistema de penalización por puntos en caso de incumplimiento. Los expertos cualificados reciben puntos de penalización en caso de una certificación de mala calidad. Un cierto número de puntos conducen a la formación correctiva o suspensión de la licencia.

En Irlanda, los puntos de penalización a los expertos EPC (después de la auditoría) tienen una validez de 2 años. Si acumulan 10 o más puntos en un período de 2 años, la licencia puede ser suspendido (por un período de 3 a 12 meses) o retirada (en caso de reincidencia).

Tabla AI.4.-Sistema de sanciones por puntos en Irlanda (CA EPBD, 2013).

<b>Severidad 1</b>	Los casos con alto potencial de comprometer la integridad fundamental del esquema de valoración energética del edificio (BER), de dañar la confianza del público o de otra manera de provocar un impacto negativo en la credibilidad del esquema de certificación.	3 puntos de penalización
<b>Severidad 2</b>	Una incumplimiento significativo pero, aunque no es un procedimiento aceptable, es poco probable que afecte la credibilidad del Certificado BER.	2 puntos de penalización
<b>Severidad 3</b>	Un incumplimiento menos significativo que no afectaría a la credibilidad del certificado BER	1 punto de penalización

En Letonia, la licencia se suspende por 6 meses si el experto ha recibido 7 o más puntos de penalización, y hasta 12 meses si se han acumulado más de 10 puntos.

*Sanciones monetarias*

En 12 de los 28 países, las sanciones monetarias pueden ser impuestas a los expertos cualificados por el incumplimiento de la EPBD. La sanción máxima puede variar según los Estados Miembros, así como si son expertos individuales (personas físicas) o entidades legales (ver la figura AI.15.).



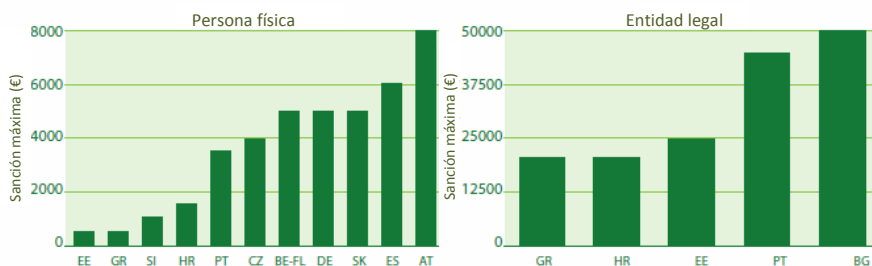


Figura AI.15.- Penalización máxima a expertos y/o empresas por baja calidad de EPCs emitidos.

Las sanciones a expertos cualificados son un nuevo mecanismo (introducido después de 2012 en la mayoría de los estados miembros que la poseen). Aún así, en un número no simbólico de países las multas no se imponen en la práctica (por ejemplo Bulgaria, República Checa, Hungría, Croacia, Eslovenia, etc.). Los expertos cualificados reciben un aviso y/o solicitud de corrección del EPC bajo su propia responsabilidad.

Hasta el momento sólo hay unos pocos países donde se imponen multas, como por ejemplo en Austria, Flandes, Portugal y Holanda. En Flandes, el control en 2011 dio lugar a 76 multas de 500 euros a expertos cualificados. En Holanda, en 2012, 50 compañías fueron penalizadas con sanciones administrativas por la baja calidad de sus certificados EPC.

### **Disponibilidad y usabilidad de los datos de certificados EPCs**

Se verá a continuación cómo se consiguen los datos de los certificados EPCs que se presentarán en los registros nacionales y regionales. Se abordarán las siguientes cuestiones:

- Estado de la implementación.
- Alcance de la información de los EPCs recogida.
- Mecanismos para la carga de datos EPC.
- Gestión de los registros.
- Acceso público a los datos.

### Registros de EPCs en Europa

#### *Estado de implementación*

Si bien no es obligatorio según las directivas europeas establecer un registro central/regional de EPCs, casi todos los estados miembros han establecido un sistema de recogida de datos de EPCs voluntariamente.

Los primeros estados miembros que establecieron una base de datos para los EPCs fueron Austria (en algunas regiones desde 2005), Bulgaria (2005), Dinamarca (2006), y Bélgica - Flandes (2006). Recientemente se introdujo un registro central en Alemania (2014), como ya se ha mencionado. En 2011, había 15 estados miembros con un registro centralizado/regional de EPCs. Para junio de 2014, el número había aumentado a 24 países, con Noruega, Polonia, Letonia, Luxemburgo y la República Checa preparándose para lanzar sus registros EPC.

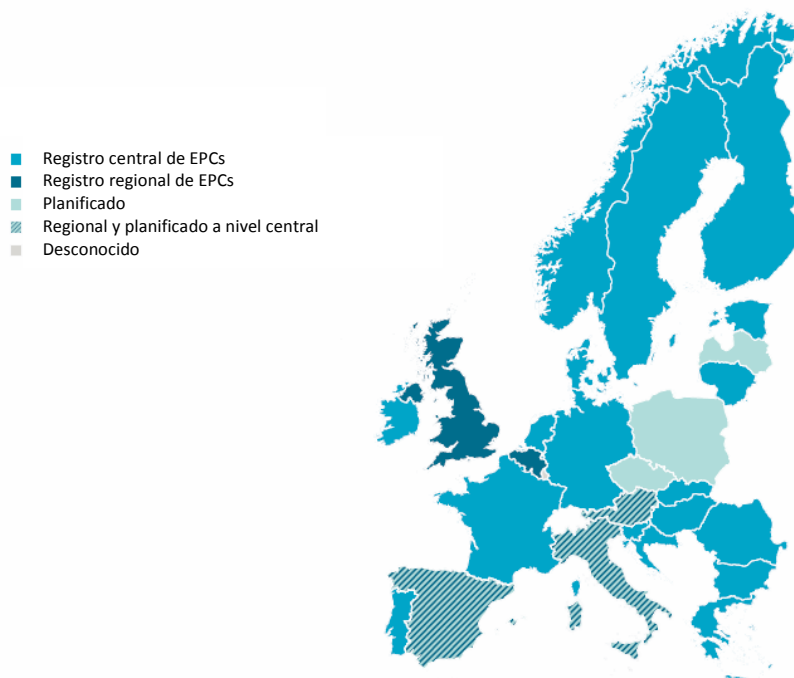


Figura AI.16.-Registro de EPCs en Europa.

Hay 5 estados miembros (Italia, Reino Unido, España, Austria y Bélgica), que siguen un enfoque regional. La existencia de bases de datos independientes a nivel regional podría crear dificultades para el análisis de datos a nivel nacional. Así, en Austria una nueva base de datos central y obligatoria para todos los EPCs (edificios residenciales y no residenciales) está en desarrollo. Una base de datos similar se está planeando actualmente en España y está previsto a medio/largo plazo en Italia. En algunos países existen bases de datos diferentes por tipo de edificio, como edificios nuevos y existentes (Bélgica - Flandes) y edificios residenciales y no residenciales (en Reino Unido).

#### *Alcance de la información de los EPCs recogida*

La falta de requisitos y directrices para establecer el registro EPC han dado a los estados miembros la libertad en el desarrollo de dichos registros, lo que da lugar a una amplia

variedad de ejemplos. Las bases de datos varían en relación al ámbito de aplicación (tipo de datos recogidos), pero también en cuanto a formato y las modalidades de adquisición y procesamiento de datos.

En la mayoría de los países con bases de datos operacionales, la información recogida se compone de indicadores claves que se presentan en el EPC, incluyendo:

- Información de referencia. Por ejemplo, número de registro, tipo de edificio, el nombre del propietario y año de construcción.
- Geometría del edificio. Por ejemplo, superficie útil y superficie climatizada.
- Tipo de EPC, es decir, calculado o medido, y período de validez.
- Información sobre la eficiencia energética. Por ejemplo, etiqueta energética y consumo anual de energía por uso final.
- Las recomendaciones y los ahorros de energía esperados.
- Otro ejemplo: emisiones de gases de efecto invernadero, cuota de energías renovables, pérdidas de energía, precio de la transacción, etc.
- Detalles del asesor energético. Por ejemplo nombre y número de registro.

El único registro que no recoge información específica relativa a la eficiencia energética de los edificios se estableció en Alemania. Este registro consiste sólo en el número de identificación del EPC, el tipo de construcción, calificación del EPC, la región donde se encuentra el edificio y el asesor responsable (que tiene que proporcionar la información detallada cuando se solicita).

En algunos países (por ejemplo en Lituania, Grecia, Hungría, Francia, Irlanda y Reino Unido), además de los datos proporcionados en el EPC, se solicita información adicional en la base de datos. Por lo general, estos datos son necesarios para reproducir (recalcular) los resultados del EPC, e información adicional relacionada con el auditor.

En varios países (por ejemplo en Reino Unido, Irlanda, Francia, Portugal, Países Bajos, Suecia, Grecia, Croacia y Estonia) ha sido desarrollado un protocolo de entrada de datos de EPCs digital para su recolección. Este protocolo, después de ser rellenado con datos EPC, se puede cargar automáticamente al sistema de base de datos.

Tabla AI.5.-Ejemplo de datos recolectados en las bases de datos de EPCs en Europa.

	Información general del edificio	Datos de eficiencia energética	Recomendaciones	Detalles del experto cualificado	Datos de entrada de cálculo	Comentarios
ALEMANIA						Sólo el número de registro de EPC, el tipo de construcción, la calificación del EPC y región donde se encuentra el edificio
RUMANÍA						Copia electrónica del EPC, todos los datos disponibles en el EPC
ESLOVAQUIA						Todos los datos disponibles en el EPC
LITUANIA						All input to calculation software, all data provided in the EPC
GRECIA						Todos los datos de entrada de cálculo de EPC, todos los datos aportados en EPC, se almacenan versiones XML y PDF del certificado EPC en la base de datos
PORTUGAL						El sistema requiere aproximadamente 250 entradas. Todos los datos proporcionados en el EPC e información cualitativa/cuantitativa de referencia
HUNGRÍA						El sistema requiere aproximadamente 80 entradas. Toda la información disponible en el EPC y más
FRANCIA						El sistema requiere aproximadamente 105 entradas. Toda la información disponible en el EPC y más
IRLANDA						Todos los datos de entrada al software de cálculo. Toda la información disponible en el EPC e información del certificador.

El formato de registro varía entre los estados miembros desde una estructura de carpetas sencilla con una copia electrónica del EPC (por ejemplo en Rumanía) hasta bases de datos SQL avanzadas (por ejemplo en Irlanda, Noruega, Portugal y Francia). Algunos países utilizan un formato de hoja de cálculo Excel para recopilar datos EPC (como ejemplos tenemos Hungría que ha desarrollado un avanzado sistema basado en Excel con una interfaz de usuario, y Bulgaria dónde la primera etapa se llevó a cabo en el formato Excel y fue reemplazado después por una base de datos MySQL).

Mecanismos para la carga de datos EPC

La carga de la información del EPC en la base de datos es de exclusiva responsabilidad del experto cualificado en casi todos los estados miembros. Las posibles maneras de subir el EPC al registro son:

- Carga automática de datos EPC a través de un protocolo estandarizado de datos (por ejemplo, XML, PDF editable), que puede tener lugar antes o después de la expedición del certificado.
- Carga manual de datos EPC realizado (por lo general) a través de un formulario de entrada en plataforma online.
- Se envía a la Secretaría Central copia electrónica del EPC, que se encarga de almacenar y/o la transferencia de información a la base de datos de EPC.

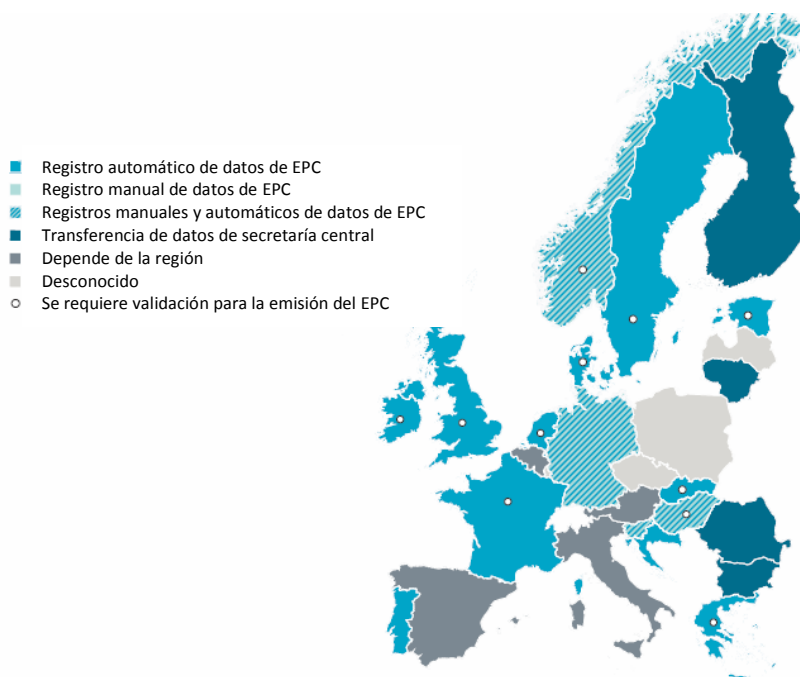


Figura AI.17.-Carga de datos de EPCs en Europa.

En algunos países, hay varias maneras de cargar los datos de EPCs. Por ejemplo, en Hungría los expertos podrían cargarlos a través del protocolo estandarizado de datos directamente a la base de datos o escribir manualmente los datos en la plataforma online (en caso de que el software utilizado no proporcione los resultados en el formato normalizado). En Eslovenia, todos los EPCs se almacenan electrónicamente en la versión beta del registro, pero en paralelo el Ministerio además tiene una copia impresa del EPC.

En algunos países, con el fin de emitir un EPC, debe ser enviado/cargado en la base de datos EPC y ser validados oficialmente/aprobado. Esto puede suceder de forma automática si el software se conecta directamente al registro de EPC (por ejemplo, en Francia y en la región de Valonia en Bélgica), o el proceso de validación puede requerir la carga de un protocolo estandarizado de datos (por ejemplo, Malta, Grecia, Noruega, Irlanda, Suecia). En algunos países, el proceso de validación incluye el análisis digital de la calidad de los datos (por ejemplo en Dinamarca), antes de obtener un código de validación.

#### Gestión de registros de EPCs

La responsabilidad de gestionar las bases de datos en la mayoría de los estados miembros (22 de 28) recae en el gobierno central y/o regionales. Si no es este el caso, la gestión se lleva a cabo por organizaciones que tienen vínculos estructurales con los

organismos públicos, como es el caso de Noruega, Grecia, Lituania, Alemania y algunas regiones de Italia.

Hungría es el único país en el que la base de datos es gestionada por una asociación profesional (Colegio de Arquitectos de Hungría), que también es responsable de la acreditación de expertos cualificados.

En los países de Reino Unido (Inglaterra, Gales e Irlanda del Norte) los registros EPC están a cargo de un organismo externo (Landmark), al que se adjudicó el contrato correspondiente.

En Escocia, la gestión de la base de datos se ha delegado en el Energy Savings Trust.

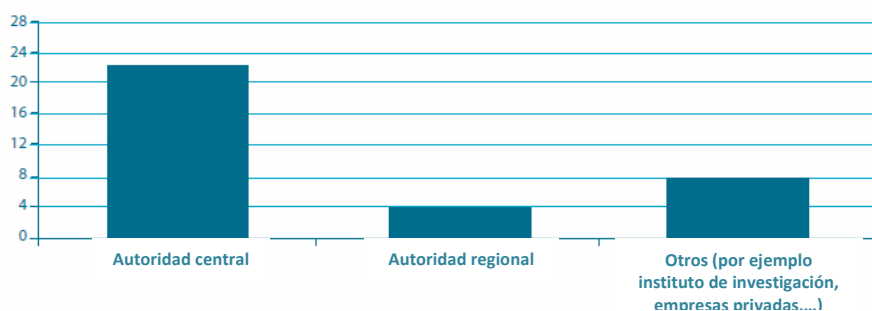


Figura AI.18.-Estados miembros con datos recolectados en las bases de datos de EPCs en Europa.

La financiación de las bases de datos se suele realizar por el Estado, con la excepción del Reino Unido, donde los registros en Inglaterra, Gales e Irlanda del Norte, gestionado por Landmark, se financian a través de contratos de concesión. En algunos países, el presupuesto para el registro se apoya con tasas en la presentación de EPCs. Por ejemplo, en el Reino Unido se aplica una cuota de aproximadamente 2 euros para certificados en edificios residenciales y 12 euros para los edificios no residenciales, en Alemania 3 a 6 euros, en Lituania 6 euros, en Irlanda 25 euros para residenciales y 50 euros para los edificios no residenciales, siendo el más caro Malta, donde el costo de registrar un EPC es de 75 euros. En la mayoría de los estados miembros, sin embargo, no hay cuota para registrar un EPC.

#### Acceso público a los datos de EPCs

El nivel de la información disponible al público en las bases de datos EPCs varía entre los Estados Miembros. En algunos casos, el acceso libre a la información de EPCs se proporciona directamente por acceso a la base de datos (en Dinamarca, Estonia, Hungría, Irlanda, Lituania, Países Bajos, Portugal, Suecia, partes del Reino Unido - Inglaterra y Gales, y

Noruega), mientras que en otros, sólo los resultados del EPC están a disposición del público (Bélgica-Flandes, Grecia, Chipre, Croacia, Hungría, Rumania).

En varios países, el acceso a la información de EPCs se proporciona a organizaciones externas, principalmente, con fines de investigación y comerciales. En algunos países (Bulgaria, Alemania, Finlandia, Malta y Chipre) no hay acceso público a la base de datos EPC.

El acceso completo a la base de datos, es decir, el acceso a todos los datos en bruto, no se proporcionada por ningún estado miembro, debido a las leyes de protección de datos.

Dinamarca, Suecia, Hungría, Estonia, Lituania, Eslovaquia, Portugal y los Países Bajos ofrecen acceso a datos de EPC básicos, como la clase de energía o eficiencia energética, para cualquier edificio por su dirección. Grecia, Noruega e Irlanda ofrecen esta funcionalidad de búsqueda sólo por el número de identificación del EPC (que es sólo conocido por el propietario del edificio). Además, en Inglaterra, Gales e Irlanda del Norte, también hay una utilidad para buscar por número de identificación de EPC, código postal, nombre de la calle y ciudad.

En Italia, las regiones de Las Marcas, Emilia Romagna, Sicilia y Valle d'Aosta presentan alguna información acerca de los EPCs en sus sitios web. En la región de Lombardía, existe una base de datos completa disponible públicamente.

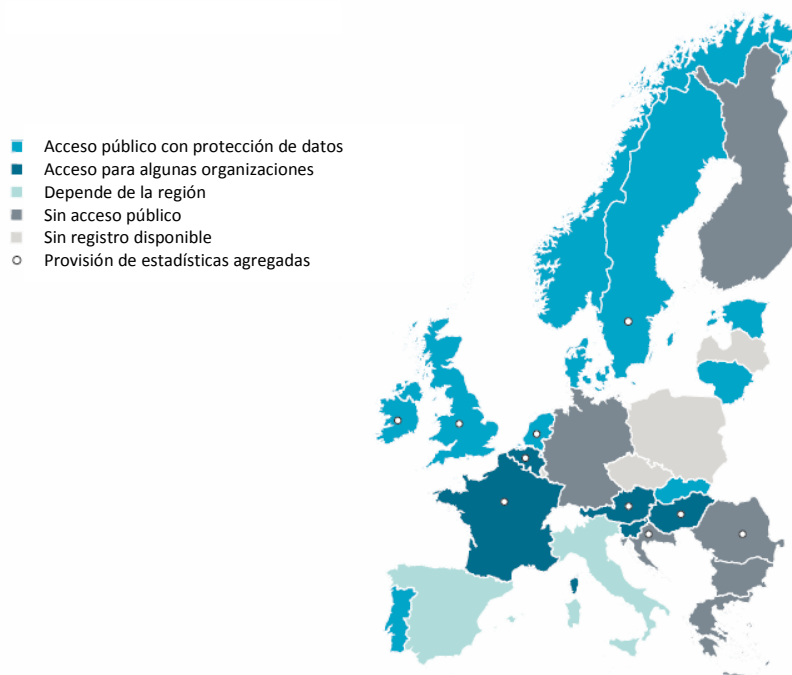


Figura AI.19.-Acceso público a las base de datos de EPCs en Europa.

Actualmente, los datos de EPCs en la mayoría de los estados miembros alimentan el análisis y los informes estadísticos emitidos por sus gestores. Estos informes suelen proporcionar resultados agregados sobre la eficiencia energética de los edificios existentes por categoría de edificio, por clase de energía, etc. En varios estados miembros, los informes oficiales se emiten periódicamente y se ponen a disposición del público (por ejemplo, en Bélgica - Flandes, Portugal). En otros países, como Francia, Eslovaquia, Hungría, Irlanda y los Países Bajos, los resultados se presentan en webs que permiten la visualización de datos.

#### Etiquetas de certificación energética en anuncios públicos

El uso de certificados EPCs en anuncios publicitarios es uno de los motores más importantes para incrementar la demanda de edificios energéticamente eficientes. La EPBD Recast exige que cuando un edificio (o unidad de construcción) se ponga a la venta o alquiler, el indicador de eficiencia energética tiene que ser publicado en los medios comerciales (Art. 12, EPBD). Francia fue el primer país que lo puso en práctica en 2011, mientras que Holanda ha sido el último en ponerlo en práctica en la legislación nacional, el 1 de enero de 2015.

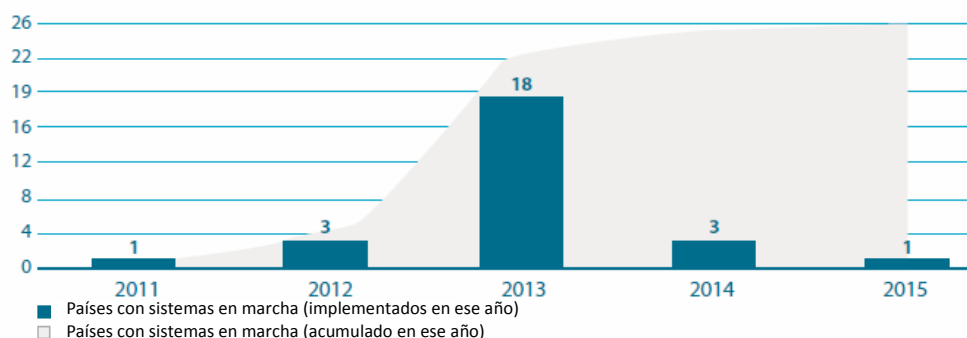


Figura AI.20.-Implementación de las exigencias de publicidad en la Europa de los 28.

El nivel de cumplimiento de la exigencia en la publicidad en todos los países de la UE es muy bajo. Hasta la fecha, sólo unos pocos países han evaluado el grado de aplicación (Flandes en Bélgica, Irlanda y Francia). Por ejemplo, en Flandes con la introducción de un mecanismo de control relativamente simple en los anuncios de bienes, la publicación de las etiquetas de energía aumentó del 68% en 2010 al 95% en 2012.

#### **El certificado de eficiencia EPC en algunos países de Europa**

A continuación se muestra la fecha y modelos de certificados energéticos de edificios existentes utilizados en algunos países de la UE. Los países que ya disponían de sistemas de



certificación energética previamente a la entrada en vigor de la normativa europea, han adaptado los formatos para adecuarse a la normativa comunitaria.

**Alemania**

En Alemania el certificado se denomina Energieausweis. La norma de referencia para edificación eficiente en Alemania es la *Energy Conservation Ordinance (Energieeinsparverordnung, EnEV, 2002)* que, aunque aprobada en 2002, ha ido modificándose para introducir los requerimientos de las directivas de edificación de la Unión Europea.

A diferencia de España, Alemania utiliza la escala energética HERS (RESNET), al igual que en los EEUU, Bélgica, Letonia o Polonia.

El proceso Alemán ha sido lento, desde las primeras reglamentaciones en el año 1976, hasta la certificación energética, han pasado 26 años, donde han formado bases sólidas en el mercado de eficiencia energética, formado profesionales capacitados y mano de obra adecuada, materiales, etc. Han realizado numerosas investigaciones tecnológicas con el objeto de definir el estándar y han invertido con el objeto de fomentar edificaciones eficientes, a través de publicidad y marketing de proyectos pilotos.



Figura AI.21. - Primeras páginas de un certificado de eficiencia energética en Alemania.

En Alemania, como ya se ha dicho, existe un certificado energético (Energypass) desde el año 2002, a través de la Ordenanza de Ahorro de energía EnEv 2002. La EnEv establece la metodología de evaluación energética y los requisitos para obtener el certificado de eficiencia energética, válido en toda Alemania y acorde a las exigencias impuestas por la Unión Europea.

En la norma, se incluyen los requerimientos de máximos consumos de energía, valores límites de transmitancia térmica para elementos de la envolvente, exigencia sobre la eficiencia del sistema de calefacción, etc. La metodología de evaluación en una vivienda se basa en comparar la demanda anual estimada de energía primaria de dicha vivienda, con respecto a una línea base de referencia, establecida en función del coeficiente de forma (área de envolvente/volumen de la vivienda).

Para cumplir con la normativa, la demanda de la vivienda a evaluar debe ser inferior al límite establecido. Además establece las pérdidas máximas de calor por transmisión a través de la envolvente. La certificación comienza en la etapa de diseño, en donde el arquitecto, ingeniero o asesor energético calcula la demanda (consumo teórico) de energía primaria. En Alemania existen asesores energéticos (aussteller) que son acreditados por la Agencia Alemana de la Energía, DENA (Deutsche Energie – Agentur GMBH). Estos asesores pueden realizar la evaluación inicial del diseño si el cliente lo solicita.

Se encuentran dos tipos de certificados:

- Certificado de Demanda – Edificaciones Nuevas.
- Certificado de Consumo – Edificaciones Existentes.

Existen dos métodos para determinar la demanda de energía primaria:

- Método simplificado (método de balance periódico): si el porcentaje de ventanas respecto a la envolvente es menor al 30%.
- Método de balance mensual: si el porcentaje de ventanas respecto a la envolvente es mayor al 30%.

El consumo máximo permitido es 120 kWh/m<sup>2</sup>·año.

De forma similar a Alemania, se puede poner como ejemplo el caso de Austria (2008), cuyo certificado energético posee el mismo nombre: Energieausweis.

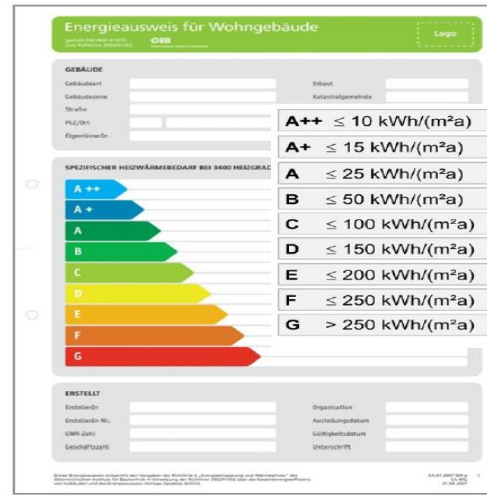


Figura Al.22. - Certificado para viviendas en Austria (Energieausweis für Wohngebäude).

En la figura Al.21. se puede observar el certificado tipo utilizado en Austria. Posee 9 niveles en la escala de certificación y establece el consumo anual por m<sup>2</sup> de superficie construida.

Francia

En Francia los edificios consumen el 46% del total de la energía nacional. Desde el 1 de enero de 2011 es obligatorio mostrar la etiqueta de eficiencia energética junto con la oferta de venta o alquiler del inmueble (figura Al.23).

A diferencia de España, los certificados utilizan una doble escala (la “escala energética”, que indica el consumo de energía expresado en kWh/m<sup>2</sup>·a y la “escala climática”, que muestra las emisiones anuales de CO<sub>2</sub> en kg/m<sup>2</sup>·a).

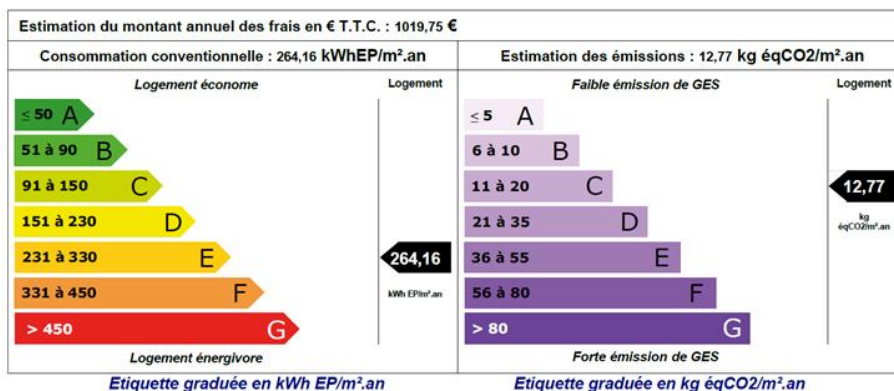


Figura Al.23. – Certificado energético para viviendas en Francia.

Francia se ha unido más recientemente a la política de certificación energética y su normativa data del año 2000 (Effinergie).

Esta normativa es de obligado cumplimiento en edificios no industriales y de nueva construcción.

A la hora de realizar la clasificación existen dos métodos de cálculo, uno simplificado válido para edificios de menos de 220 m<sup>2</sup> y para personas sin conocimientos específicos en temas energéticos, y otro más complejo para realizar por profesionales del sector.

El consumo máximo permitido es de 50 kWh/m<sup>2</sup>. Establece que el consumo de energía para las instalaciones de calefacción, producción de agua caliente sanitaria, ventilación, climatización y, en determinados casos iluminación, debe ser menor que un consumo establecido como referencia, según la zona del país donde se localice el edificio.

Su certificado se denomina *Diagnostic de Performance Energétique* (DPE). Se encuentra vigente desde 2006 para la venta de edificios ya existentes y desde 2007 para el alquiler de edificios ya existentes y edificios de nueva construcción. La clasificación energética media de los edificios franceses es E (240 kWh/m<sup>2</sup>-año).

### Reino Unido e Irlanda

#### *Reino Unido*

Reino Unido es uno de los países de la Unión Europea que antes impuso el proceso de certificación energética, en el año 1995 (Energy Rating).

El certificado de eficiencia energética para edificios existentes entró en vigor en 2007. En abril de 2012 se reformó la normativa para incluir los requisitos exigidos por la Directiva 2010/31/UE y ampliar la certificación a edificios no residenciales. Las sanciones económicas van desde 500 a 5.000 libras.

Su normativa actual es aplicable a viviendas nuevas y existentes.

La clasificación en este país, recibe el nombre de SAP (The Standard Assessment Procedure), y va desde 1, que corresponde a la menor calidad energética, hasta 100. Se considera una alta calidad energética, a partir de una clasificación de 80.

El SAP se utiliza para cumplir con las normas de construcción que según la legislación actual requieren de un índice de energía en cualquier vivienda. El procedimiento de evaluación estándar generalmente refleja los costes teóricos anuales de energía por unidad de espacio, así como los costes esperados de calefacción. Consiste en un balance estático de la demanda de energía de una vivienda, dando como resultado de dicho balance las emisiones de CO<sub>2</sub> anuales.

Los procesos de certificación energética son realizados por profesionales que han recibido formación en esta materia y han debido aprobar un examen que les permite realizar este tipo de procesos.

Las emisiones de CO<sub>2</sub> se calculan en base al cálculo del TER (Target Emisión Rate), que es el índice de emisiones de CO<sub>2</sub> de la vivienda objeto respecto a la vivienda de referencia, y se expresa en kg de CO<sub>2</sub> por m<sup>2</sup> de superficie por año. En esta clasificación no se valora la localización del edificio, su climatología, ni consumos de iluminación y electrodomésticos.

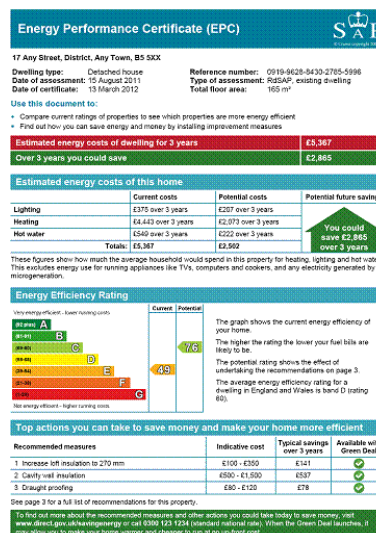


Figura AI.24. - Primera página del Certificado de eficiencia energética (EPC) en Reino Unido.

Para evaluar la demanda energética se debe considerar las siguientes variables: calefacción, agua caliente, iluminación y energía utilizada en bombas y ventiladores. Se da una calificación respecto a su comportamiento energético y su impacto en el medio ambiente.

Finalmente, se entregan recomendaciones de bajo coste, menores a 500 libras y otras de mayor coste, para mejorar los estándares de eficiencia.

*Irlanda*

En Irlanda existe el organismo NICER (The National Irish Center for Energy Rating) para el desarrollo de una certificación energética de edificios que colabora con la Entidad para la Energía Sostenible (The Sustainable Energy Authority of Ireland, SEAI).

Se desarrolló el BER como etiqueta energética, siendo obligatoria para las construcciones a partir de 2007. El BER debe ir acompañado de un informe que debe emitir una entidad certificada por el National Framework of Qualifications (NFQ) y estar registrado en el SEAI.

En el BER (Building Energy Rating) se calcula la energía consumida por la calefacción, ACS, ventilación e iluminación, en base a una ocupación estándar.

La etiqueta tiene una escala que va desde la de A hasta la G. Las viviendas con calificaciones A son los más eficientes energéticamente.

El certificado BER es obligatorio para todas las viviendas en venta o alquiler, debiendo incluir los anuncios detalles del certificado cuando una vivienda es ofertada en venta o alquiler. También se requiere en viviendas de nueva construcción.

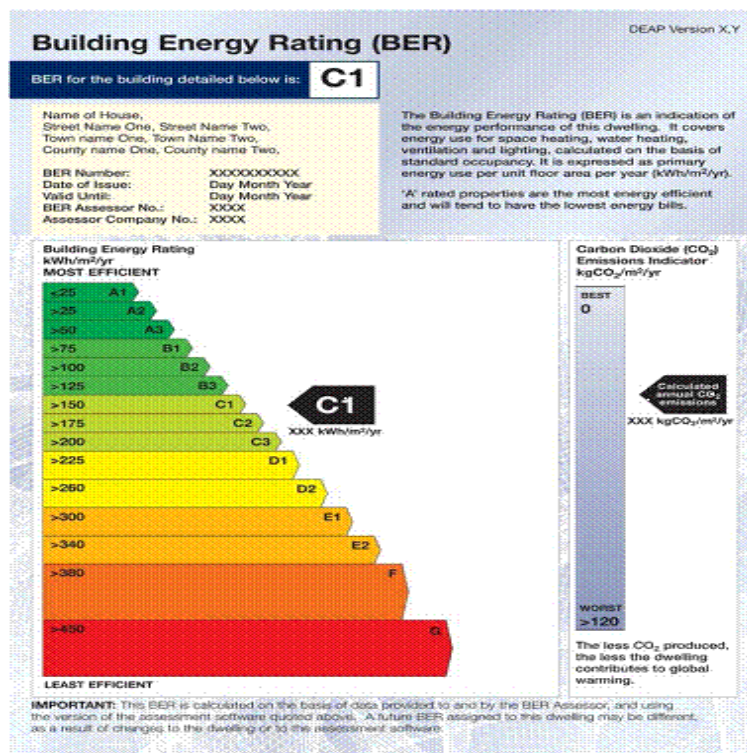


Figura AI.25. - Building Energy Rating (BER) Certificado vigente en Irlanda.

Hay excepciones para determinadas categorías de hogares, por ejemplo, las edificaciones protegidas.

La legislación de Irlanda en materia de eficiencia energética tiene todavía campo para desarrollarse en otras áreas como el transporte o la industria.

En cuanto a consumos, en Irlanda, desde el año 2000, la factura del gasóleo se ha incrementado en un 60%, la del gas un 55% y la de electricidad un 44%. Se espera un incremento adicional del 35-40% tomando como referencia los precios de 2006. En este contexto el certificado se ha implantado como una medida que ayude a concienciar a los propietarios a acometer reformas en materia de aislamiento, instalación de energías renovables y renovación de las instalaciones térmicas y eléctricas.

#### Los países del Este

Los edificios que formaban parte de la antigua URSS son los que más energía por m<sup>2</sup> consumen de la UE debido a las condiciones climatológicas y a la política energética de las últimas décadas, que difiere sustancialmente de la Europa Occidental al depender en mayor porcentaje del carbón y utilizar sistemas de calefacción central.

En los siguientes países ya se encuentra vigente la certificación de edificios existentes: Bulgaria (2005), Estonia (2009), Hungría (2008), República Checa (2009), Polonia (2007), Rumania (2011), Letonia (2008), Lituania (2007) y Eslovaquia (2009).

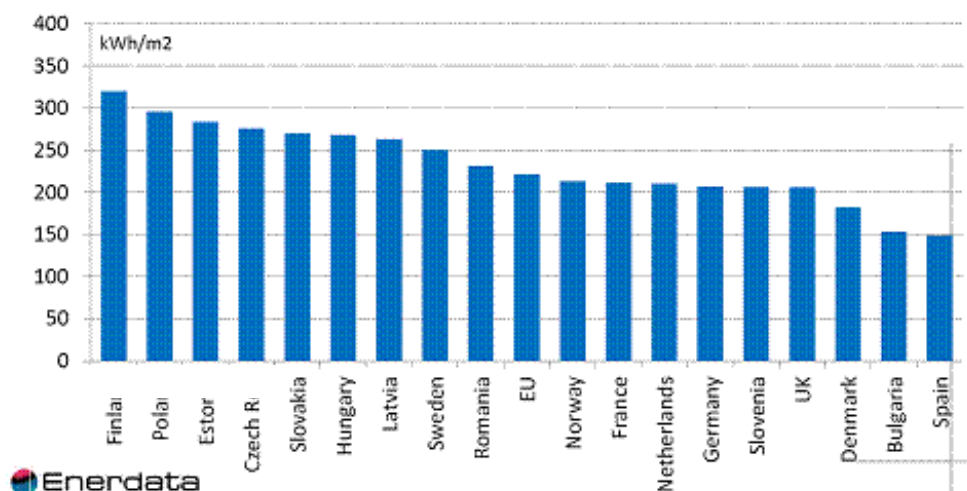


Figura AI.26. - Consumo específico de energía en edificios por m<sup>2</sup>. Fuente: Odyssee.



Figura A1.27. - Primera página del certificado energético vigente en Hungría.

La escala utilizada en Hungría consta de 10 niveles (de la A+ a la I).

### Dinamarca

El clima de esta región explica el alto consumo de sus edificios, concretamente en calefacción e iluminación. Aún así, se trata de un país donde la cultura del ahorro energético se ha consolidado y la calificación mínima requerida para edificios de nueva construcción es *B*.

Dinamarca es uno de los países con mayor trayectoria en la certificación energética de edificios, desde 1997 (Energimærke).

La política danesa de ahorro de energía se focaliza en un sistema de etiquetado energético de edificios. Desde 1997, este sistema es obligatorio en Dinamarca y desde comienzos de 2006 un sistema similar se trasladó a todos los países de la UE mediante la aplicación de la ya mencionada Directiva 2006/32/CEE sobre la eficiencia energética de edificios, que se basó entre otras en la experiencia danesa.

El objetivo de Dinamarca es etiquetar las viviendas antes de su venta de modo que los nuevos propietarios puedan ver el rendimiento energético de la casa para influir en la decisión de compra. El procedimiento de etiquetado también incluye recomendaciones para la mejora de la eficiencia energética de la construcción. Se trata, por tanto, de una regulación basada en



el supuesto de que los consumidores bien informados conozcan las ventajas e inconvenientes de su elección.

Es de obligado cumplimiento en edificios de nueva construcción que no sean de uso industrial y para edificios existentes de menos de 1500 m<sup>2</sup>.

La clasificación energética comienza con A1, que se otorga a los edificios con máxima eficiencia energética, y va hasta C5, que correspondería a la menor eficiencia energética. Incluye información sobre el consumo energético, sobre las emisiones de CO<sub>2</sub> y sobre el consumo de agua del edificio realizando una predicción del consumo anual esperado de agua y energía.

El proceso de certificación energética comienza con una auditoría energética, que debe ser realizada por un ingeniero o un arquitecto, definido como consultor energético, y que para poder realizar este tipo de inspecciones ha de contar con 5 años de experiencia en el sector de la edificación y el ahorro energético.

En función de la superficie del edificio existe una certificación energética distinta:

- Edificios menores de 1500 m<sup>2</sup>: “Energy labelling for Small Buildings” (EM).
- Edificios mayores de 1500 m<sup>2</sup>: “Energy Management Scheme for Large Buildings” (ELO). Es obligatoria y tiene una frecuencia anual tanto del proceso de etiquetado como del plan energético del edificio. Este certificado energético está basado en la medida de consumos realizados por el propietario del edificio, que el consultor encargado de emitir las certificaciones procesa con herramientas desarrolladas para este certificado, incorporando valoraciones del impacto de distintas mejoras energética.

Ambos esquemas de certificación energética de edificios daneses incorporan tanto una valoración energética del edificio como un plan de mejoras energéticas.

Similares desarrollos al de Dinamarca se han seguido en Holanda (2008), Finlandia (2009), Noruega (2010) y Suecia (2008)



miembros (véase la figura AI.30). El proceso de transposición se retrasó en relación con el plazo oficial establecido en EPBD recast (los estados miembros tenían 2 años para la transposición formal de los requisitos de la Directiva EPBD en la legislación nacional).

El nivel de ejecución de la EPBD en los estados miembros varía de un país a otro y depende en gran medida del punto de partida, los contextos políticos y jurídicos, las capacidades disponibles para apoyar la aplicación, así como las características del mercado inmobiliario.

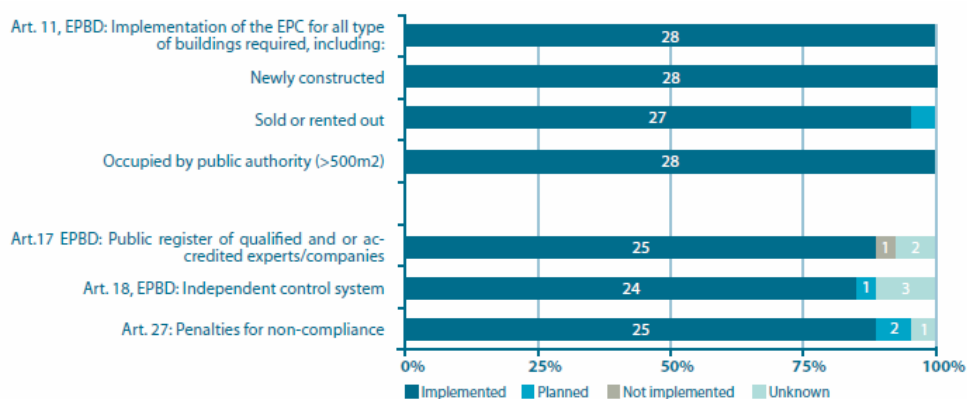


Figura AI.29. - Transposición formal de los requisitos de la EPBD en la Europa de los 28 países.

Todos los estados miembros de la UE han establecido reglas para la formación y acreditación de los certificadores energéticos. Sin embargo, esos sistemas difieren en gran medida en términos de los requisitos mínimos de educación básica y experiencia profesional, programas de capacitación, acreditación y procedimientos de control (ver figura 1.19.). Un examen obligatorio es la práctica más común para verificar las competencias de los certificadores en el proceso de acreditación. Los exámenes, así como los programas de formación (obligatorios o voluntarios), se llevan a cabo normalmente por organismos externos aprobados que están obligados a seguir las prescripciones de las autoridades a este respecto. En España, sin embargo, la cualificación para certificar energéticamente edificios se adquiere por titulación, no existiendo exámenes ni formación complementaria necesaria.

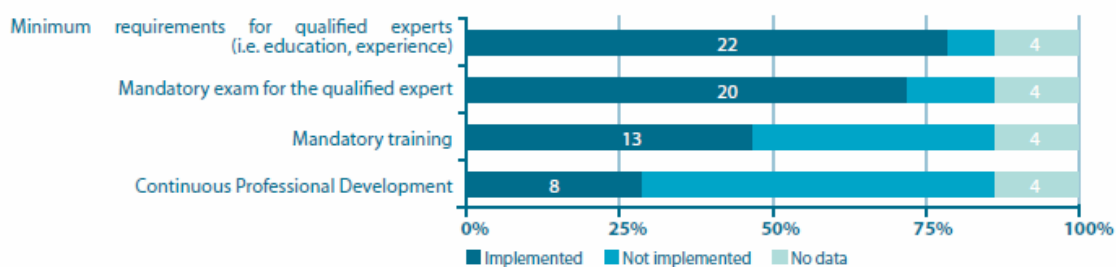


Figura AI.30. – Requerimientos para expertos cualificados y/o acreditados en la Europa de los 28.

Aunque la transposición formal del artículo 18 de la EPBD a la legislación nacional ha sido finalizado en casi todos los estados miembros, la aplicación y uso de certificados EPC está todavía en curso en muchos miembros de la UE. En algunos de los países, el sistema independiente para el control de calidad de los certificados EPC no se ha establecido todavía. En España, el control de calidad se realiza de forma regional, dependiendo pues de cada región el seguimiento realizado.

El diseño de los sistemas de control sigue los requisitos y recomendaciones de la EPBD (Anexo II), pero difiere de un país a otro con respecto al tamaño de la muestra estadísticamente significativa de las EPCs emitidos y el método de verificación. Si bien la sencilla comprobación de los datos de entrada y los resultados son una práctica común en todos los estados miembros, el re-cálculo del EPC es poco habitual y se realiza sólo en algunos países.

En casi todos los estados miembros, las sanciones por incumplimiento de la EPBD se han incorporado a la legislación nacional (en 12 países se pueden imponer multas). Sin embargo, el nivel de cumplimiento y de imposición de multas es todavía muy bajo. Hasta la fecha, la sanción más común impuesta es de carácter administrativo, como una advertencia formal, recertificación o suspensión de la licencia de la agencia certificadora. La falta de aplicación del régimen sancionador puede diluir considerablemente la calidad, la credibilidad y la utilidad de los esquemas de certificación energética.

En 19 de los 28 Estados miembros, sólo softwares aprobados oficialmente pueden ser utilizados para el cálculo del EPC. En otros estados miembros es válido cualquier software que, en principio, siga la metodología de cálculo con criterios nacionales (pero no están verificados oficialmente).

No todos los estados miembros exigen la presencia física in situ del certificador para recopilar la información técnica necesaria para emitir el EPC (para los edificios existentes). La inspección in situ aporta una mayor seguridad de la calidad del EPC emitido y permite que las recomendaciones hechas para posibles mejoras sean más eficaces, lo que no es posible en EPCs emitidos en base a la información proporcionada por el propietario del edificio. Por otro lado, la emisión de un EPC de esta última manera puede ser más barato.

Aunque no es requerido formalmente por la EPBD, todos los estados miembros han considerado necesaria la creación de registros de EPCs (bases de datos). En la mayoría de los

países existe un sistema centralizado de recogida de datos a nivel nacional. En otros los sistemas son regionales de acuerdo con la organización administrativa específica del país. La falta de orientación sobre el diseño y la implementación del registro EPC dio lugar a una gran variedad de datos disponibles en los registros de EPC en toda Europa. Las principales diferencias están relacionadas con el tipo de datos recogidos, el formato de adquisición de datos y el almacenamiento y gestión de datos, incluida la carga y el intercambio.

En 15 de los 28 Estados miembros, la base de datos EPC es un elemento central para el sistema de control de calidad, el apoyo a un muestreo aleatorio y la primera fase de verificación de datos (es decir, control de plausibilidad de los datos de entrada). En 11 países, se requiere carga obligatoria del EPC como condición para su aprobación oficial. En algunos estados miembros, se ha desarrollado un protocolo de datos digital para permitir una transferencia fácil y automática de los datos entre el software de cálculo y la base de datos EPC.

Los datos EPC están a disposición del público (con respeto a la protección de datos privados), bien por acceso directo a la base de datos de EPC en 10 estados miembros de la UE, o por medio de informes estadísticos con resultados agregados en 8 estados miembros de la UE. En algunos países, se proporciona acceso directo a la base de datos EPC después de la autorización a hacerlo por parte de algunas organizaciones (por ejemplo, agencias gubernamentales, etc.).

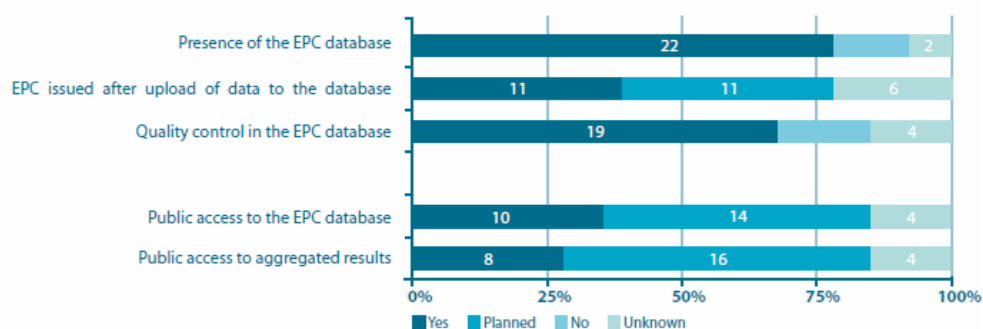


Figura AI.31. – Registros de EPCs en la Europa de los 28.

En la actualidad hay entre 5 y 12 años de experiencia en la implementación de la certificación de eficiencia energética en Europa y una elevada experiencia adquirida debido a la primera EPBD [10]. La EPBD recast [11] introdujo una serie de nuevos requisitos (por ejemplo, controles de calidad, sistema de penalización, de promoción de los EPCs en el mercado y los anuncios de venta, etc.) que, una vez implementado plenamente a nivel

nacional, puede ofrecer una mejora significativa. Sin embargo, los planes relativos a los EPCs aún no se aplican plenamente en todos los estados miembros. Por tanto, la calidad, credibilidad y utilidad de los EPCs puede variar en gran medida entre dichos estados miembros, y todavía hay una necesidad de un mayor apoyo y de directrices para la aplicación de los regímenes de EPC a nivel nacional.

#### **AI.4.2. Certificados energéticos en Norteamérica**

Se resumen a continuación los diversos códigos, normas y programas de calificación y certificación en materia de edificación sostenible, y más concretamente de los sistemas de evaluación de eficiencia energética existentes actualmente en los tres países norteamericanos: Estados Unidos, Canadá y México.

##### **Códigos y normas**

No hay en América del Norte códigos de edificación sostenibles ni eficientes energéticamente a nivel nacional.

En Estados Unidos, muchas dependencias federales, al igual que gobiernos estatales y municipales y sus distritos, y gran cantidad de sectores, han adoptado normas de edificación sostenibles mínimas u obligatorias. Por ejemplo, California tiene su propio código de edificación sostenible, y otros 10 estados, o parte de éstos, utilizan o han adoptado el Código Internacional de Construcción Sostenible (*International Green Construction Code, IgCC*) [w-13], administrado por el Consejo Internacional de Codificación (*International Code Council, ICC*) [w-14], organismo que regula la construcción de edificios comerciales nuevos y remodelados. Asimismo, el Cuerpo de Ingenieros del Ejército (*Army Corp of Engineers*) adoptó la norma 189.1 de la Sociedad Estadounidense de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Climatización (*American Society of Heating, Refrigeration, and Air Conditioning Engineers, ASHRAE*) [w-15], norma que aparece como una de las opciones de cumplimiento en el código internacional IgCC publicado en 2012.

En Canadá, el Código Nacional de Energía para la Construcción (*National Energy Code for Building, NECB*) de 2011 y la norma suplementaria SB-10 "Suplemento de Eficiencia Energética" de la Asociación Canadiense de Normalización (*Canadian Standard Association's Supplementary Standard SB-10 "Energy Efficiency Supplement"*) incluyen elementos de eficiencia energética en el diseño y la construcción.

México carece de un código de construcción con aspectos de eficiencia energética para edificios, pero se están tomando medidas encaminadas a formular y reglamentar disposiciones en esta materia. Existen, asimismo, muchas normas técnicas nacionales y otros documentos que pueden servir de base para un código de edificación sostenible con aspectos de eficiencia energética, como las normas técnicas complementarias del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal, que incluyen características de eficiencia energética. La creación de un código o norma de construcción en materia de eficiencia energética para edificios no es más que el principio de un proceso que, por encima de todo, exige un sólido sistema de cumplimiento. De hecho, es necesario reforzar el cumplimiento y la aplicación del sistema de reglamentos de construcción en general.

Acontinuación, se hará una breve descripción de algunos códigos de edificación o energéticos que se han mencionado en este apartado.

#### Código Internacional de Construcción Sostenible

El Código Internacional de Construcción Sostenible (*International Green Construction Code, IgCC*), creado por el Consejo Internacional de Codificación (*International Code Council, ICC*), fue el primer código que incluyó medidas de eficiencia energética en un proyecto integral de construcción. El código se superpone al conjunto de códigos internacionales vigentes, incluidas las disposiciones del Código Internacional de Conservación de la Energía (*International Energy Conservation Code, IECC*) y de la Norma Nacional de Edificación Sostenible (*National Green Building Standard*) ICC-700, además incorporar la norma ASHRAE 189.1 como vía alternativa al cumplimiento.

País	Estados Unidos
Organización	Consejo Internacional de Codificación (ICC)
Tipo de programa y construcción	Voluntario; construcciones nuevas y reacondicionadas
Sectores de la construcción	Comercial, institucional, atención de la salud, vivienda unifamiliar y multifamiliar
Áreas de desempeño	Desarrollo de sitios sostenibles, eficiencia energética, consumo de agua, selección de materiales, calidad del ambiente interior, emisiones, descargas y otras repercusiones, y sistemas de energía renovable
Sitio web	< <a href="http://www.iccsafe.org/cs/IGCC/">www.iccsafe.org/cs/IGCC/</a> >

#### Código de Edificación de Vivienda

El Código de Edificación de Vivienda (CEV), código de construcción voluntario de la Comisión Nacional de Vivienda (Conavi), se enfoca en diversos aspectos de sostenibilidad de la

construcción de edificios, desde protección contra incendios hasta diseño estructural, incluidos selección de materiales, manejo del agua y eficiencia energética.

País	México
Organización	Comisión Nacional de Vivienda (Conavi)
Tipo de programa y construcción	Voluntario
Sectores de la construcción	Vivienda
Áreas de desempeño	Eficiencia energética y el consumo de agua
Sitio web	< <a href="http://www.cmic.org/mnsectores/vivienda/2008/CONAVI/CEV.htm">www.cmic.org/mnsectores/vivienda/2008/CONAVI/CEV.htm</a> >

### Norma ASHRAE 189.1

La norma 189.1 ofrece un “paquete completo de sostenibilidad para la construcción” que comprende elementos ecológicos, uso eficiente del agua, eficiencia energética, calidad del ambiente interior e impacto de la edificación tanto en la atmósfera como en materiales y recursos. Esta norma es una de las opciones de cumplimiento incluidas en el código internacional IgCC 2012, publicado por el Consejo Internacional de Codificación.

País	Estados Unidos
Organización	ASHRAE
Tipo de programa y construcción	Voluntario; construcciones nuevas y renovaciones mayores
Sectores de la construcción	Comercial, institucional, atención de la salud y vivienda multifamiliar
Áreas de desempeño	Desarrollo de sitios sostenibles, eficiencia energética, consumo de agua, selección de materiales, calidad del ambiente interior, gestión ambiental y del proyecto, emisiones, descargas y otras repercusiones
Sitio web	< <a href="http://www.ashrae.org">www.ashrae.org</a> >

### **Sistemas de calificación y programas de certificación**

Los sistemas de calificación y los programas de certificación no constituyen normas y, por tanto, no tienen un carácter obligatorio, aunque se hayan impuesto en algunas administraciones. Se tratan de pautas y sistemas realizados por expertos con el propósito de definir criterios por encima de los requisitos mínimos, facilitar el logro de objetivos específicos aún no incluidos en los códigos y normas establecidos, y ayudar a los profesionales del sector en su cumplimiento.



LEED

Este sistema de calificación ya ha sido visto previamente. Se harán unas anotaciones al respecto en Norteamérica como complemento a lo ya expuesto.



El primer proyecto piloto del programa LEED®, denominado LEED® Versión 1.0, fue lanzado por el USGBC en agosto de 1998. Luego de diversas modificaciones se realiza LEED® versión 2.0, llamado “LEED® Green Building Rating System” para nuevas construcciones y renovaciones de importancia, o LEED® NC. En Abril de 2009 se lanzó LEED® V3, que incorpora entre otras cosas, mejoras técnicas a los estándares de evaluación, haciéndolos más exigentes. La última versión de la Certificación, LEED® V4, fue lanzada oficialmente en Noviembre del año 2013.

Países	Canadá, Estados Unidos y México
Organizaciones	Consejo de Edificación Sostenible de Estados Unidos, Consejo de Edificación Sostenible de Canadá, Consejo de Edificación Sostenible de México
Tipo de programa y construcción	Voluntario; construcciones nuevas y renovaciones
Sectores de la construcción	Urbanizaciones, comercial, administraciones públicas, vivienda unifamiliar y plurifamiliar
Áreas de desempeño	Desarrollo de sitios sostenibles, eficiencia energética, eficiencia en el consumo de agua, selección de materiales, calidad del ambiente interior, gestión ambiental y del proyecto
Método de verificación	Cálculo
Sitio web	< <a href="http://new.usgbc.org/">http://new.usgbc.org/</a> >

El LEED® (Leadership in Energy and Environmental Design), de Green Building Rating System™, es un programa de certificación voluntario, destinado a potenciar y promover la eficiencia en los edificios sostenibles. A través de la evaluación del edificio, el proyectista tiene la posibilidad de conocer inmediatamente el impacto de las opciones elegidas en términos de impacto medioambiental, subdivididas en cinco categorías que se refieren a la salud humana y medioambiental. Las categorías, subdivididas, a su vez, en subrequisitos evaluados sobre bases científicas, son:

- Sostenibilidad del emplazamiento.
- Eficiencia en el uso del agua.
- Energía y atmósfera.

- Materiales y recursos.
- Calidad del aire interior.

Una sexta categoría, la innovación del proceso de redacción del proyecto, comprende las problemáticas no incluidas en las otras categorías, como por ejemplo la acústica, la participación de la comunidad y otros factores que varían de un caso a otro en función de la tipología de la intervención realizada.

A continuación se expone en síntesis la tabla de evaluación LEED:

Tabla AI.6.- Tabla de evaluación LEED.

REQUISITOS	PUNTOS
<b>Sostenibilidad del emplazamiento</b>	<b>8-14</b>
<b>Prerrequisito: control de la erosión del terreno y de la sedimentación</b>	
Elección del emplazamiento	1
Desarrollo urbano	1
Mejora de la calidad del terreno	1
Transporte alternativo	1-4
Reducción de los ruidos en el emplazamiento	1-2
Gestione del agua de lluvia	1-2
Redacción en proyecto de los espacios abiertos con objeto de reducir las islas de calor	1-2
Reducción de la contaminación	1
Eficiencia en el uso del agua	3-5
Gestión eficiente del agua en los espacios abiertos	1-2
Tecnologías innovadoras para la recuperación del agua	1
Reducción del uso del agua	1-2
<b>Energía y atmósfera</b>	<b>7-17</b>
<b>Prerrequisito 1: proyecto de los sistemas energéticos de seguimiento del edificio</b>	
<b>Prerrequisito 2: estándares energéticos mínimos</b>	
<b>Prerrequisito 3: reducción de cfc en los sistemas de ventilación y acondicionamiento de aire</b>	
Optimizar la eficiencia energética	2-10
Uso de energía renovable	1-3
Seguimiento del edificio	1
Reducir la emisión de gases de efecto invernadero para cumplir las condiciones establecidas por el protocolo de Montreal	1
Medida y seguimiento de los resultados	1
Promover el uso de energía limpia	1
<b>Materiales y recursos</b>	<b>7-13</b>
<b>Prerrequisito: recogida selectiva de los materiales y residuos reciclables</b>	
Reutilización en el edificio	1-2
Gestión de los residuos procedentes de la construcción	1-2
Reutilización de los recursos	1-2
Reciclado	1-2
Uso de materiales locales o regionales	1-2
Uso de materiales renovables rápidamente	1
Uso de madera certificada	1
<b>Calidad del aire interior</b>	<b>8-15</b>
<b>Prerrequisito 1: estándar mínimo de calidad del aire interior</b>	
<b>Prerrequisito 2: control del humo del tabaco</b>	

<b>Seguimiento de las emisiones de CO2</b>	1
<b>Favorecer la ventilación interna de los edificios</b>	1
<b>Plan de gestión de la construcción para asegurar la calidad del aire en espacios interiores</b>	1-2
<b>Uso de materiales con bajas emisiones</b>	1-4
<b>Control de las fuentes de contaminación química en espacios interiores</b>	1
<b>Sistemas de control</b>	1-2
<b>Confort térmico</b>	1-2
<b>Iluminación natural y vista</b>	1-2

La suma de los puntos obtenidos en cada categoría constituye una evaluación del edificio, que va de un mínimo de 26 puntos a un máximo de 69. Más concretamente, los edificios se subdividen en:

- Certificación Base (Certified, 26 – 32 puntos).
- Certificación Plata (Silver / 33-38 puntos).
- Certificación Oro (Gold / 39-51 puntos).
- Certificación Platino (Platinum / 52 e 69 puntos).

Hasta abril de 2013 se habían registrado y certificado casi 49.000 proyectos en América del Norte (44.270 en Estados Unidos, 4.212 en Canadá y 322 en México).

#### Sistema Green Globes

En 2005, la Iniciativa para la Edificación Sostenible (Green Building Initiative, GBI) se convirtió en la primera organización acreditada como formuladora de normas en materia de edificación



sostenible por el Instituto Nacional de Normalización Estadounidense (American National Standards Institute, ANSI).

El comité técnico de la GBI de la ANSI se formó a principios de 2006 y la norma ANSI oficial *Green Globes* se publicó en 2010.

Operado por la GBI en Estados Unidos, y por BOMA Canada en Canadá, el sistema Green Globes es utilizado por grandes promotores inmobiliarios y empresas de administración de propiedades, e incluso por el gobierno federal canadiense, que adoptó el programa para la totalidad de su parque inmobiliario.

Países	Estados Unidos y Canadá
Organizaciones	Iniciativa de Edificación Sostenible (GBI), BOMA Canada, ECD Energy and Environment
Tipo de programa y construcción	Voluntario; construcciones nuevas, existentes y reacondicionadas
Sectores de la construcción	Comercial, institucional, centros sanitarios
Áreas de desempeño	Desarrollo de sitios sostenibles, eficiencia energética y en el consumo de agua, selección de materiales, calidad del ambiente interior, gestión ambiental y del proyecto, emisiones y evaluación del ciclo de vida
Método de verificación	Cálculo y medición
Sitio web	< <a href="http://www.greenglobes.com">www.greenglobes.com</a> >

A finales del 2013, la GSA (Administración de Servicios Generales de los Estados Unidos) dio a conocer sus recomendaciones para los sistemas de clasificación de edificios ecológicos del gobierno federal. Por primera vez, los organismos gubernamentales podrán elegir entre dos procesos de certificación sostenible:

1. LEED.
2. Iniciativa de Edificios Ecológicos Green Globe 2010.

Green Globe introdujo originalmente en los Estados Unidos una alternativa interactiva, flexible y económicamente factible al sistema de clasificación de edificios de LEED. Esta alternativa utiliza un proceso de certificación en línea que se encuentra estructurado como una auto-evaluación. Se realiza de manera interna, de principio a fin, utilizando un administrador de proyecto y un equipo de diseño. El sistema, basado en cuestionarios, incluye consejos útiles y tablas técnicas que son necesarios aplicar.

A diferencia del sistema de clasificación de edificios de LEED, Green Globe otorga, a través de terceros, el reconocimiento a un edificio sostenible. En la presentación del proyecto es necesario incluir planos de construcción, especificaciones, modelado energético, análisis de ciclo de vida, registros de sesiones y cualquier plan sostenible que se pretenda.

#### ***Comparación de Green Globe con LEED***

De acuerdo con la Ley de Independencia y Seguridad Energética del 2007, la GSA debe revisar estos sistemas de clasificación con el fin de recomendar el que más probablemente brinde un alto rendimiento y ayude a cumplir los objetivos ecológicos para los edificios federales. La revisión obtuvo dos hallazgos clave:

- Para las construcciones nuevas, Green Globe se alinea con más requisitos federales que LEED.
- Para edificios ya existentes, LEED se alinea con más requisitos federales que Green Globe.

### Energy Star

ENERGY STAR es un programa voluntario de etiquetado establecido por la Agencia de Protección del Medio Ambiente (EPA) en 1992, al amparo de la sección 103(g) de la Ley de Aire Limpio (Clean Air Act). El programa se elaboró originalmente a fin de identificar y promover productos con consumo eficiente de energía, con miras a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. La etiqueta ENERGY STAR se incluye ahora en los principales electrodomésticos, equipos de oficina, dispositivos de iluminación y equipos electrónicos para el hogar, así como viviendas nuevas y edificios y plantas comerciales e industriales.



Desde su creación, Australia, Canadá, Japón, Nueva Zelanda, Taiwán y la Unión Europea han adoptado el programa. Los dispositivos que llevan la marca Energy Star, por lo general, utilizan entre un 20% y un 30% menos de energía que la requerida por las normas federales. En Estados Unidos, la etiqueta Energy Star también se muestra en la etiqueta EnergyGuide, certificación analizada posteriormente.

### *Especificaciones*

Las especificaciones Energy Star difieren con cada elemento, y se establecen ya sea por la Agencia de Protección del Medio Ambiente o por el Ministerio de Energía. Podemos resumir, en cuanto a especificaciones referentes a edificios:

- Calefacción y refrigeración: Existe calificación ENERGY STAR para bombas de calor, calderas, sistemas de aire acondicionado y hornos. Los consumos en refrigeración y calefacción se pueden reducir de manera significativa con el sellado de sistemas de aire y sellado de conductos. Dicho sistema de aire reduce el aire exterior que penetra en un edificio, y el sellado del conducto impide que el aire de una cubierta o sótano entre en los conductos y disminuya la eficiencia de los sistemas de calefacción/refrigeración. Los sistemas de aire

Energy Star son al menos un 10% más eficientes que los estándares del gobierno federal de Estados Unidos en cuanto a sus mínimos de eficiencia.

- Iluminación: Energy Star es otorgado sólo a ciertas luminarias que cumplan estrictamente con la eficiencia, la calidad y los criterios de vida útil.
  - Energy Star en iluminación fluorescente se otorga a productos que utilizan un 75% menos de energía y duran hasta 10 veces más que las lámparas incandescentes normales.
  - La calificación Energy Star en LEDs:
    - Reduce los costes de energía: utiliza al menos un 75% menos de energía que las lámparas incandescentes, disminuyendo los gastos de operación.
    - Reduce los costes de mantenimiento: dura entre 35 y 50 veces más que las lámparas incandescentes y de 2 a 5 veces más que las lámparas fluorescentes.
    - Reduce los costes de refrigeración: los LEDs emiten muy poco calor.
    - Garantía: vienen con una garantía de tres años como mínimo, mucho más allá del estándar en la industria.
    - Ofrece instalaciones de calidad: disponible con regulación en algunos modelos de interior y automáticos con sensores de movimiento con luz diurna en algunos modelos al aire libre.
- Casas de nueva construcción: Las casas de nueva construcción que cumplan las directrices de eficiencia energética pueden ser calificadas con Energy Star. Una vivienda calificada Energy Star utiliza al menos un 15% menos de energía que las casas estándar construidas con el Código Residencial Internacional del 2003. Normalmente incluyen el aislamiento instalado correctamente, ventanas de alto rendimiento, construcción compacta, sistemas de calefacción/refrigeración eficientes y electrodomésticos, iluminación y calentadores de agua con calificación Energy Star.

Energy Star ha desarrollado un sistema de calificación de eficiencia energética para varios tipos de edificios comerciales e institucionales y distintos tipos de instalaciones. Los valores, en una escala de 1 a 100, proporcionan un medio para la evaluación comparativa de la eficiencia energética de los edificios y plantas industriales con la eficiencia energética de instalaciones similares. Los sistemas de clasificación también son utilizados por la EPA para determinar si un edificio o planta pueden ser calificados Energy Star.

Para muchos tipos de edificios comerciales, se puede introducir la información sobre los parámetros energéticos en la herramienta en línea gratuita de la EPA y calcula una puntuación para la edificación en una escala de 1 a 100. Los edificios que consigan una puntuación de 75 o superior pueden ser calificados Energy Star. Además existe una herramienta de gestión energética interactiva que permite realizar un seguimiento y evaluación del consumo energético y de agua en su o sus edificios en línea. Dicha herramienta realiza una evaluación comparativa automática que puede otorgar la certificación Energy Star a los edificios que han mejorado en 12 meses consecutivos sus datos de consumo energético y recibió puntuaciones de 75 o superior.

- Edificios: El número de tipos de edificios que pueden recibir la calificación de eficiencia energética en la herramienta mencionada se está incrementando y actualmente ya incluye a las instituciones bancarias/financieras, juzgados, hospitales, hoteles, casas de culto, escuelas, oficinas, residencias, tiendas, supermercados, almacenes, centros de datos, instalaciones de cuidado de ancianos y centros de aguas residuales.

La calificación, de 1 a 100, puede ser generada por tipo de espacio evaluable mediante la introducción de características constructivas, tales como superficie y horas de servicio semanales y datos de consumo energéticos mensuales en la herramienta gratuita en línea proporcionada por Energy Star.

- Instalaciones industriales: Es posible la calificación de eficiencia energética en las siguientes instalaciones industriales: plantas de ensamblaje de automóviles, plantas de cemento, fábricas de contenedores de vidrio, fábricas de vidrio plano, refinerías de petróleo, fábricas de productos farmacéuticos,...
- Otras instalaciones: Plantas de tratamiento de aguas residuales municipales

Resumen de Energy Star:

Países	Estados Unidos y Canadá
Organizaciones	Agencia de Protección Ambiental (EPA) de Estados Unidos, ministerio de Recursos Naturales de Canadá (NRCan)
Tipo de programa y construcción	Voluntario; construcciones nuevas y reacondicionadas
Sectores de la construcción	Comercial, institucional, centros sanitarios, vivienda unifamiliar y plurifamiliar
Áreas de desempeño	Eficiencia energética y calidad del aire interior
Método de verificación	Medición
Sitio web	< <a href="http://www.energystar.gov/">www.energystar.gov/</a> >

La Agencia de Protección Ambiental de los EE.UU. reconoce anualmente a las pequeñas empresas que demuestren capacidad para reducir los residuos, ahorrar energía y reciclar. Las empresas deben utilizar los recursos y las ideas esbozadas en el programa Energy Star. El premio fue establecido en 1999.

#### Living Building Challenge

El programa *Living Building Challenge* (LBC) se puso en marcha en 2006. Tres años más tarde, en 2009, el Consejo de Edificación Sostenible Cascadia fundó el *International Living Building Institute* como organización coordinadora para el LBC y sus programas auxiliares. El Instituto certificó los primeros proyectos en 2010 y a principios de 2011 cambió su nombre a *Living Future Institute*, con la misión de conducir la transformación hacia una mayor sostenibilidad y eficiencia.



Living Building Challenge es la certificación más exigente para edificios sostenibles. Sólo 9 edificios en Estados Unidos han logrado llegar con éxito al final de un proceso que pretende la construcción de proyectos prácticamente autosuficientes en el aspecto energético.

Países	Estados Unidos y Canadá
Organizaciones	Living Building Institute y sus afiliados, Consejo de Edificación Sustentable de Canadá
Tipo de programa y construcción	Voluntario; construcciones nuevas y reacondicionadas
Sectores de la construcción	Urbanización (desarrollo de barrios, poblados, campus y ciudades), comercial, institucional, vivienda unifamiliar y plurifamiliar
Áreas de desempeño	Desarrollo de sitios sostenibles, eficiencia energética y en el consumo de agua, selección de materiales, salud, equidad, estética, sistemas de energía renovable y evaluación del ciclo de vida
Método de verificación	Medición
Sitio web	< <a href="http://living-future.org/lbc">http://living-future.org/lbc</a> >



Exige actuaciones en 20 puntos, distribuidos en 7 categorías o aspectos:

- El primero tiene relación con el lugar del proyecto. Elegir el más apropiado y poner límites al crecimiento de éste.
- El segundo se refiere al agua. El objetivo es tomar conciencia de lo que significa este recurso para el hombre. En términos prácticos, se trata de hacer un sistema que evite desperdiciar agua, reutilizándola a través de distintos procesos para el mismo edificio (desde regar las plantas, hasta climatizar un ambiente).
- El tercer punto habla de la energía y el objetivo es que toda sea autoabastecida y obtenida de fuentes renovables.
- El cuarto está orientado a la salud y busca maximizar la buena salud y el bienestar a través de las instalaciones del trabajo. La idea es tener un ambiente civilizado, donde las personas tienen herramientas tecnológicas para reducir sus impactos, con un aire saludable dentro del edificio.
- El aspecto número 5 tiene que ver con los materiales: promover productos y procesos que sean seguros para todas las especies a lo largo del tiempo.
- El 6 se refiere a equidad.
- El séptimo a la belleza.

En 2013 más de 100 proyectos en 6 países estaban tramitando su certificación. Pero, hasta esa fecha, eran 9 los proyectos certificados: el Bertschi Science Wing Hawaii Prep Energy Lab, Omega Center, Tyson Living Learning Center, Eco-Sense Residence, Painters Hall, IDeAs Z2 Design Facility, DPR Phoenix Regional Office y zHome.

#### Certificación de Edificios con Nulo Consumo Energético Neto

La Certificación de Edificios con Nulo Consumo Energético Neto (*Net Zero Energy Building Certification*) es una rama del LBC que ofrece certificación para edificaciones que producen su propia energía, en sitio y a partir de fuentes renovables, en volúmenes suficientes para cubrir la totalidad de sus necesidades sobre una base anual neta.



Países	Estados Unidos y Canadá
Organizaciones	Living Building Institute y sus afiliados, Consejo de Edificación Sustentable de Canadá
Tipo de programa y construcción	Voluntario; construcciones nuevas y reacondicionadas
Sectores de la construcción	Comercial, institucional, vivienda unifamiliar y plurifamiliar
Áreas de desempeño	Desarrollo de sitios sostenibles, equilibrio energético, derecho a la naturaleza, estética, sistemas de energía renovable y evaluación del ciclo de vida
Método de verificación	Medición
Sitio web	< <a href="http://living-future.org/netzero">http://living-future.org/netzero</a> >

Para obtener la certificación Net Zero Energy Building, se deben cumplir los 5 siguientes requisitos de Living Building Challenge™:

- Límites de crecimiento (en parte).
- Net Zero Energy: Sirve como el principal foco de Certificación Net Zero Energy Building.
- Belleza.
- Espíritu e Inspiración.
- Educación.

#### Passive House

La certificación *Passive House* constituye un riguroso proceso para asegurar la calidad de una edificación que cumpla con todos los requisitos de la norma del mismo nombre y, más importante, confirma que el diseño arquitectónico se haya orientado a lograr altos niveles de comodidad y de salud de los ocupantes, así como una elevada eficiencia energética.

Países	Estados Unidos y Canadá
Organizaciones	US and Canadian Passive House Institutes
Tipo de programa y construcción	Voluntario; construcciones nuevas y reacondicionadas
Sectores de la construcción	Institucional, vivienda unifamiliar y plurifamiliar
Áreas de desempeño	Eficiencia energética
Método de verificación	Cálculos y pruebas de filtración de aire
Sitio web	< <a href="http://www.passivehouse.us">www.passivehouse.us</a> > y < <a href="http://www.passivehouse.ca">www.passivehouse.ca</a> >

### ICC 700 National Green Building Standard

La *ICC 700 National Green Building Standard* de Estados Unidos, publicada en enero de 2009 por la *National Association of Home Builders (NAHB)*, es el único sistema de calificación de edificios residenciales sostenibles aprobado como norma nacional estadounidense por el American National Standards Institute (ANSI). Dirigido a los constructores de casas, este sistema de calificación ofrece prácticas para diseñar y construir o renovar todo tipo de edificaciones residenciales y urbanizaciones inmobiliarias con características eficientes.

País	Estados Unidos
Organización	<i>National Association of Home Builders (NAHB)</i>
Tipo de programa y construcción	Voluntario; construcciones nuevas y reacondicionadas
Sectores de la construcción	Urbanización, vivienda unifamiliar y plurifamiliar
Áreas de desempeño	Desarrollo de sitios, eficiencia energética y en el consumo de agua, selección de materiales, calidad del ambiente interior
Método de verificación	Cálculos
Sitio web	< <a href="http://www.nahb.org/generic.aspx?genericContentID=194088">www.nahb.org/generic.aspx?genericContentID=194088</a> >

En 2012, por primera vez desde que se publicó en 2009, la norma fue objeto de revisión y actualización.

La nueva versión de la norma incluye varios cambios importantes:

- Actualización del Código de Energía: Mientras que el ICC original utiliza la versión 2006 del Código Internacional de Conservación de Energía (IECC) como base, la nueva versión usará el IECC 2009. Se estima que los requisitos de esta IECC 2009 dará lugar a una eficiencia energética de un 15% mayor que con el anterior código del 2006.
- Reestructuración de puntuación en remodelaciones: La nueva versión renueva por completo el marcador para renovaciones y proyectos de remodelación. La norma revisada incluye dos capítulos completamente nuevos dedicados a los proyectos de construcción existentes. El primero ofrece criterios para edificios completos e incluye requisitos para la mejora de la eficiencia energética e hídrica, que aumenta a medida que se buscan mayores niveles de cumplimiento. El segundo proporciona un protocolo para los proyectos de renovación y ampliación más comunes, que se centran en las áreas funcionales

de un hogar, como una cocina, cuarto de baño, sótano, o ampliación de menos de 400 pies cuadrados.

- Incentivos para el desarrollo y diseño: El 2012 ICC 700 incluye la posibilidad de obtener 6 puntos en el diseño, preparación y en el capítulo de desarrollo. En la versión anterior de la norma no se proporcionaron dichos incentivos en puntuaciones.

### BOMA BEST

La iniciativa de normas ambientales para edificaciones BOMA BEST (*Building Environmental Standards*) es un programa nacional iniciado en 2005 por la Asociación de Propietarios y Administradores de Edificios (*Building Owners and Managers Association*, BOMA) de Canadá con el propósito de satisfacer la necesidad del sector de contar con normas realistas de desempeño energético y ambiental para edificios existentes sobre la base de información exacta y verificada de forma independiente. A su vez, BOMA BEST se derivó del método BREEAM (Método de Evaluación Ambiental del Centro para la Investigación sobre Edificación [*Building Research Establishment Environmental Assessment Method*, BREMA]) del Reino Unido ya estudiada en un apartado anterior.



País	Canadá
Organización	BOMA
Tipo de programa y construcción	Voluntario; construcciones nuevas y reacondicionadas
Sectores de la construcción	Industrial ligera, comercial, institucional y viviendas plurifamiliares
Áreas de desempeño	Desarrollo de sitios sostenibles, eficiencia energética y en el consumo de agua, calidad del ambiente interior, gestión ambiental y del proyecto, emisiones, y descargas y otras repercusiones
Método de verificación	Cálculo y medición
Sitio web	< <a href="http://www.bomabest.com">www.bomabest.com</a> >

La certificación está disponible para edificios de oficinas, centros comerciales, pequeños comercios y propiedades industriales.

El certificado tiene una duración de 3 años.

Existen cuatro niveles posibles de certificación:

- BOMA BEST nivel 1: el edificio cumple con las medidas propuestas por el sistema de certificación básico BOMA Go Green Best Practices. Entre las medidas contempladas están las relacionadas con la eficiencia energética, el ahorro de agua o el mantenimiento del edificio.
- BOMA BEST nivel 2: el edificio, además de cumplir con el certificado básico cumple con un 70-79% de las medidas propuestas en el certificado Go Green Plus assessment. Entre las medidas propuestas por este certificado están las relacionadas con la gestión del edificio.
- BOMA BEST nivel 3: el edificio, además de cumplir con el certificado básico cumple con un 80-89% de las medidas propuestas en el certificado Go Green Plus assessment.
- BOMA BEST nivel 4: el edificio, además de cumplir con el certificado básico cumple con más del 90% de las medidas propuestas en el certificado Go Green Plus assessment.

Las medidas implementadas en el edificio son verificadas por un asesor externo antes de la emisión del certificado.

Actualmente existen 1.767 edificios con el certificado BOMA BEST, de los cuales sólo 55 poseen un nivel 4.

### EnerGuide

La calificación EnerGuide, programa canadiense para medir y comparar la eficiencia energética de los hogares, se calcula sobre la base de hipótesis de operación estándar en relación con las cuales se hacen las comparaciones de eficiencia energética de los hogares.



País	Canadá
Organización	Ministerio de Recursos Naturales de Canadá (NRCan)
Tipo de programa y construcción	Voluntario; construcciones nuevas y reacondicionadas
Sectores de la construcción	Vivienda unifamiliar y plurifamiliar
Áreas de desempeño	Eficiencia energética
Método de verificación	Cálculo
Sitio web	< <a href="http://oee.nrcan.gc.ca/residencial/new-homes/upgrade-packages/4998">http://oee.nrcan.gc.ca/residencial/new-homes/upgrade-packages/4998</a> >

EnerGuide es la marca oficial del Gobierno de Canadá para la calificación de eficiencia energética y su etiquetado se realiza en casas, vehículos ligeros, y ciertos productos que utilizan energía.

La información proporcionada por EnerGuide permite a los consumidores comparar diferentes modelos. Los datos pueden ser un número de clasificación basado en una medida estándar o del consumo medio verificado de energía.

EnerGuide trabaja en conjunto con el Reglamento de Eficiencia Energética de Canadá y la Iniciativa de ENERGY STAR para promover la eficiencia energética en el mercado canadiense.

#### Sistema de Evaluación de la Vivienda Verde

El Sistema de Evaluación de la Vivienda Verde (Sisevive) es un sistema de calificación que informa sobre la eficiencia energética y el desempeño ambiental de las viviendas en México. Asimismo, tiene el propósito de comparar los criterios de evaluación del sector mexicano de la vivienda. Desde enero de 2013, el Instituto del Fondo Nacional de la Vivienda para los Trabajadores (Infonavit) exige aplicar el Sisevive a todas las viviendas nuevas, al igual que su inclusión en el Registro Único de Vivienda.

País	México
Organización	Infonavit
Tipo de programa y construcción	Obligatorio; construcciones nuevas
Sectores de la construcción	Vivienda
Áreas de desempeño	Eficiencia energética y en el consumo de agua
Método de verificación	Cálculo
Sitio web	< <a href="http://www.cmic.org/comisiones/sectoriales/vivienda/2012/Infonavit/muns_y_pres/comision_mixta/sesion_112/6.%20SISEViVE_general.pdf">www.cmic.org/comisiones/sectoriales/vivienda/2012/Infonavit/muns_y_pres/comision_mixta/sesion_112/6.%20SISEViVE_general.pdf</a> >

Evalúa y califica, de acuerdo a una escala preestablecida, el comportamiento energético e impacto ambiental de la vivienda, teniendo en cuenta:

- Demanda de energía.
- Consumo de energía.
- Consumo de agua.
- Características sostenibles (etapa posterior).

Para su evaluación considera 3 parámetros:

- Arquitectura de la vivienda.
- Sistemas constructivos y materiales.
- Ecotecnologías incorporadas.

### Novoclimat

El programa Novoclimat, de aplicación voluntaria, está disponible para los consumidores canadienses que residen en Quebec y que se interesan por comprar una vivienda de alta eficiencia energética. Este programa ayuda a reducir los costos de calefacción al menos un 25 % y garantiza una mayor comodidad a los futuros ocupantes, al tiempo que insta al sector de la construcción de viviendas a seguir mejorando las técnicas de edificación.

País	Canadá
Organización	Oficina de Eficiencia Energética e Innovación del Ministerio de Recursos Naturales de Quebec
Tipo de programa y construcción	Voluntario; construcciones nuevas y reacondicionadas
Sectores de la construcción	Vivienda unifamiliar y plurifamiliar
Áreas de desempeño	Eficiencia energética y calidad del ambiente interior
Método de verificación	Cálculos y pruebas de filtración de aire
Sitio web	< <a href="http://www.efficaciteenergetique.mrnf.gouv.qc.ca/en/my-home/novoclimat/">www.efficaciteenergetique.mrnf.gouv.qc.ca/en/my-home/novoclimat/</a> >

El programa Novoclimat inicial estuvo en vigor entre 1999 y 2013. Más de 21.000 viviendas residenciales fueron construidas de acuerdo con las normas del programa, que consiguen una mayor eficiencia energética.

Sobre la base de estas normas del programa, el Código de Construcción de Québec para los pequeños edificios residenciales se modificó en agosto de 2012. El Código de Construcción incorpora nuevos requisitos que mejoran el aislamiento de techos, muros y cimientos, requisitos mínimos más elevados para puertas y ventanas, y la obligación de instalar un sistema de ventilación que utilice recuperación de calor (HRV).

Novoclimat se aplica ya a grandes edificios de unidades múltiples de entre 4 y 10 plantas o más de 600 m<sup>2</sup>.

Actualmente existe ya la versión Novoclimat 2.0, que define los requisitos técnicos que deben existir cuando una casa o un edificio pequeño se construye con el fin de ofrecer un rendimiento energético que supera las normas existentes.

El programa incluye la capacitación y certificación de los contratistas de la construcción y los especialistas en ventilación, la inspección de las viviendas cuando se construyen, y la certificación de los hogares que cumplen.

Por último, el programa también incluye una asistencia financiera que está disponible para el comprador y el constructor.

### R-2000

El programa de certificación R-2000 constituye una norma voluntaria administrada por el ministerio de Recursos Naturales de Canadá (*Natural Resources Canada*, NRCan) a través de una red de organizaciones y profesionales prestadores de servicios en ese país. El objetivo de esta iniciativa, formulada por la Oficina de Eficiencia Energética (*Office of Energy Efficiency*) conjuntamente con la industria de la construcción residencial de Canadá, es fomentar el uso de prácticas y tecnologías eficientes en consumo de energía.

El Standard R-2000 es un estándar aprobado de eficiencia energética en la industria, de calidad de estanqueidad al aire interior, y de responsabilidad ambiental en la construcción de viviendas.

País	Canadá
Organización	Ministerio de Recursos Naturales de Canadá (NRCan)
Tipo de programa y construcción	Voluntario; construcciones nuevas y reacondicionadas
Sectores de la construcción	Vivienda
Áreas de desempeño	Eficiencia energética y consumo de agua, materiales y calidad de ambiente interior
Método de verificación	Cálculos y pruebas de filtración de aire
Sitio web	< <a href="http://oee.nrcan.gc.ca/residencial/new-homes/r-2000/7334">http://oee.nrcan.gc.ca/residencial/new-homes/r-2000/7334</a> >

Las casas construidas según la Norma R-2000, por lo general, superan los requisitos de rendimiento energético de los códigos de construcción canadiense actuales y son reconocidos por el cumplimiento de un alto nivel de responsabilidad ambiental.

Desde su introducción hace más de 25 años, el estándar R-2000 se ha convertido en el punto de referencia para la energía eficiente en construcción de casas nuevas en Canadá. El Standard se actualiza continuamente para incluir las nuevas tecnologías del mercado, y además, es lo suficientemente flexible para poder ser aplicado a cualquier tipo de vivienda.



### **AI.4.3. Certificados Energéticos en Sudamérica**

Existe una organización para los países de América Latina denominada OLADE.

Desde Olade se pretende llevar a cabo la incorporación de planes de eficiencia energética en sus países miembros con el programa PALCEE, en el que se desarrollarán normativas y planes de acción. Actualmente se están estudiando en El Salvador, Nicaragua, Jamaica y Granada.

Los países miembros son: Argentina, Bolivia, Brasil, Colombia, Costa Rica, Cuba, Chile, Ecuador, El Salvador, Guatemala, Honduras, México, Nicaragua, Panamá, Paraguay, Perú, República Dominicana, Uruguay y Venezuela.

Por otro lado, el CIER es el Centro de Integración Energética Regional que comparte algunos de los estados miembros con OLADE (Argentina, Bolivia, Brasil, Chile, Colombia, Ecuador, Paraguay, Perú, Uruguay, Venezuela).

#### **Certificación energética de edificios en Brasil**

La certificación energética para edificios residenciales en Brasil se encuentra recogida en la Norma 02.135-ABTN Edifícios Habitacionais de até cinco Pavimentos (edificios residenciales de hasta 5 pisos). Esta norma establece los requerimientos y criterios que se deben exigir a un edificio residencial para que este pueda optar a una calificación energética mínima.

La metodología de la norma establece dos opciones para realizar la evaluación:

- Opción prescriptiva: que establece un conjunto de requerimientos y criterios mínimos para un procedimiento específico, el cual se basa en limitar las características de los componentes del edificio, cumpliendo así las necesidades del usuario en forma indirecta.
- Opción de desempeño: la que establece un conjunto de requerimientos y criterios que limitan la demanda de energía de una forma directa. Esta opción se puede lograr mediante 2 procedimientos:
  - Simulación: verificación de los requisitos y criterios por medio de la simulación en un software de evaluación energética de edificios.

- Medición: verificación de los requisitos y criterios por medio de mediciones en edificios o prototipos construidos.

Al evaluar el diseño mediante un software o realizando mediciones en los espacios interiores de la vivienda, se puede obtener las temperaturas interiores del edificio con las cuales se obtendrá un valor de desempeño de la vivienda.

La calificación de un edificio residencial considera 4 valores, los cuales poseen un porcentaje variable de ponderación en la calificación total:

- Sistema envolvente: 45 %.
- Sistema de acondicionamiento: 20 %.
- Sistema de agua caliente sanitaria: 22 %.
- Sistema de iluminación y equipos: 13 %.

El valor de cada uno será obtenido mediante su equivalente numérico, el cual depende de la eficiencia del sistema a calificar. El valor del equivalente numérico puede estar entre 1 y 5, en donde el número 5 representa el más eficiente.

#### Ejemplo de normativa energética en Brasil

Ley Nº 10.295 - 2001.- Dispone sobre la Política Nacional sobre Conservación y Uso Racional de la Energía: faculta al poder ejecutivo establecer los niveles máximos de consumo específico de energía o los mínimos de eficiencia energética en base a parámetros técnicos y económicos factibles.

Ley Nº 9.991 – 2000.- Inversión para la Búsqueda y Desarrollo de la Eficiencia Energética: establece el porcentaje que las empresas concesionarias y las titulares de permisos y autorizaciones para la distribución de energía eléctrica están obligadas a destinar de sus ingresos líquidos, cada año, a la investigación en la búsqueda y desarrollo de la eficiencia energética en el uso final.

Decreto N. 4.059-2001.- Reglamenta la Ley N. 10.295, de 17 de octubre de 2001, Dispone sobre la Política Nacional de Conservación y el Uso Racional de la Energía. Faculta al Ministerio de Energía y Minas establecer los niveles máximos de consumo de energía y los mínimos de eficiencia energética sobre indicadores técnicos de máquinas y aparejos

consumidores de energía. Instituye el Comité Gestor de Indicadores y Niveles de Eficiencia Energética – CGIEE.

Decreto N. 3.867-2001.- Reglamenta la Ley N. 9.991 de 24 de julio de 2000: trata de la necesidad de inversión en la búsqueda, desarrollo y eficiencia energética que deben realizar las empresas concesionarias, autorizadas o que operan en el sector eléctrico.

Decreto Nº 5184 – 2004: Crea la Empresa de Pesquisa Energética y aprueba su Estatuto Social: este decreto crea una empresa pública federal vinculada al Ministerio de Minas y Energía. Contiene el estatuto social de la empresa, en el que se destaca el objeto social destinado a estudios y planificación de actividades del sector energético, como energía eléctrica, gas natural, petróleo, carbón mineral, energías renovables y eficiencia energética, entre otras.

#### **Ejemplo de normativa energética en Colombia**

Ley Nº 697 – 2001.- Uso Racional y Eficiente de la Energía: fomenta el uso racional y eficiente de la energía y promueve la utilización de energías alternativas. Plantea la creación del Programa de Uso Racional y Eficiente de Energía (PROURE).

Decreto Nº 3683 – 2003. Reglamenta la Ley 697 de 2001 y crea una Comisión Intersectorial: reglamenta el uso racional y eficiente de la energía.

#### **Ejemplo de normativa energética en Costa Rica**

Ley Nº 7447 – 94.- Regulación del Uso Racional de la Energía: Consolida la participación del Estado en la promoción y la ejecución gradual del programa de uso racional de la energía.

Decreto Nº 25584 - 96.- Reglamento para la Regulación del Uso Racional de la Energía: establece las disposiciones, los requisitos y procedimientos que regularán el uso racional de la energía, al amparo de lo dispuesto en la Ley No. 7447.

#### **Ejemplo de normativa energética en Perú**

Ley Nº 27345 – 2000. - Ley de Promoción del Uso Eficiente de la Energía: fomenta el uso eficiente de la energía para asegurar el suministro de energía, protege al consumidor, promueve la competitividad y reduce el impacto ambiental.

### **Ejemplo de normativa energética en Argentina**

Decreto 2060/2010: prohíbe la comercialización e importación de lámparas incandescentes cuya potencia sea igual o menor a 25 W y aquellas con una tensión nominal igual o menor a 50 V.

### **AI.4.4. Certificados Energéticos en otros países: China**

Para acabar con el repaso a distintos países, y dado su importancia como potencia económica, se dará una visión resumida del estado de la certificación energética en edificios en China.

Varios gobiernos locales, como Shanghai y Beijing, desarrollaron etiquetas de eficiencia energética de edificios. Pero un programa nacional, con base en el Reglamento de Eficiencia Energética de Construcción Civil (*Civil Building Energy Efficiency Regulation*), fue lanzado en 2008. El reglamento exige legalmente que la eficiencia energética de los nuevos edificios de oficinas propiedad del gobierno o de grandes edificios públicos deben ser clasificados y etiquetados. El programa de etiquetado para edificios es administrado por el Ministerio de Vivienda y Desarrollo Urbano-Rural (MOHURD).

Sólo es obligatorio para los cuatro tipos de edificios:

- Nuevos edificios de oficinas de propiedad del gobierno o grandes edificios públicos.
- Los edificios existentes (del tipo mencionado anteriormente) que solicitan financiación del gobierno para subvencionar la modernización del edificio en cuanto a eficiencia energética.
- Edificios demostrativos de eficiencia energética estatales o provinciales.
- Edificios que se aplican para la Etiquetas de Construcción Verde del Estado (*National Green Building Labels*).

El programa de calificación MOHURD tiene cinco niveles, desde una estrella a cinco estrellas, y abarca tanto los edificios residenciales como los no residenciales.

## AI.5. REFERENCIAS

- [1] JEAN CARASSUS. The Implementation of Energy Efficient Buildings Policies: an International Comparison. International Council for Research and Innovation in Building and Construction (CIB) Task Group 66 « Energy and the Built Environment » - Review of activities 2009-2012. Agosto de 2013.
- [2] FLOUQUET, F. Local Weather Correlations and Bias in Building Parameter Estimates from Energy-Signature Models. *Energy and Buildings*, 19(1992):113-123. 1992.
- [3] FLANDERS, L. Assistant Director (UN Division for SD) en la conferencia: Sustainable Development of Coastal Zones and Instruments for its Evaluation, Alemania, 23-26 Oct. 2000.
- [4] CEN, EN 15203:2005. Energy performance of buildings—Assessment of energy use and definition of energy ratings, 2005.
- [5] (Cohen y otros, 2002). COHEN R., BORDASS W., FIELD J. y FRANCIS A. Europrosper: Developing methods for the energy certification of existing building. EPIC 2002 AIVC Conference, Lyon. Agosto 2002.
- [6] CEN EN 15217, 2005. Eficiencia energética de los edificios - Métodos para expresar la eficiencia energética y para la certificación energética de edificios.
- [7] EIA, Energy Information Administration. Household Energy Consumption and Expenditures (DOE/EIA-0321(93), U.S. Department of Energy. 1993.
- [8] ALEKSANDRA ARCIPOWSKA, FILIPPOS ANAGNOSTOPOULOS, FRANCESCO MARIOTTINI Y SARA KUNKEL. Energy Performance Certificates Across the EU”, Buildings Performance Institute Europe (BPIE). Octubre de 2014.
- [9] Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo y al Consejo sobre la eficiencia energética y su contribución a la seguridad energética y el Marco de 2030 para el clima y la energía política. COM (2014) 520 final.
- [10] Directiva 2002/91/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 16 de diciembre de 2002, relativa a la eficiencia energética de los edificios.
- [11] Directiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 19 de mayo de 2010, relativa a la eficiencia energética de los edificios (Recast).

[12] SWD (2014) 255 final Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo y al Consejo sobre la eficiencia energética y su contribución a la seguridad energética y el Marco de 2030 para el clima y la energía política COM (2014) 520 final.

[13] Art 10. EPBD 2002/91/CE: Los Estados miembros velarán por que las certificaciones de edificios (...) se llevan a cabo de forma independiente por técnicos cualificados y/o acreditados expertos, si operan como empresarios individuales o empleados por organismos de las empresas públicas o privadas.

### **Páginas web**

[w-1] BEEP, disponible en marzo de 2.015 En

[www.sustainablebuildingscentre.org](http://www.sustainablebuildingscentre.org).

[w-2] American Council for an Energy-Efficient Economy (ACEEE), disponible en Ferber de 2.015 en

<http://aceee.org/>

[w-3] BREEAM disponible en español en mayo de 2.015 en

[www.breeam.es](http://www.breeam.es)

y su original internacional

[www.bre.co.uk](http://www.bre.co.uk) .

[w-4] LEED disponible en JUNIO DE 2.015 EN

[www.usgbc.org](http://www.usgbc.org) .

[w-5] LEED Factoría KraftFoods H. Orbigo, disponible en abril de 2.015 en

<http://www.usgbc.org/projects/kraftfoods-orbigo>

[w-6] LEED edificio Lucía de la Universidad de Valladolid, disponible en Abril de 2.015 en

<http://www.usgbc.org/projects/lucia-building>

[w-7] CBECS. Comercial Buildings Energy Consumption Survey, disponible en Marzo de 2.015 en

<http://www.eia.doe.gov/emeu/cbeecs/contents.html>.

[w-8] RECS. Residencial Energy Consumption Survey, disponible en Diciembre de 2.014 en

<http://www.eia.doe.gov/emeu/recs/contents.html>.

[w-9] DOE, Department of Energy. Disponible en Agosto de 2.015 en

<http://www.energy.gov/>

[w-10] MINETUR Ministerio de Industria, Energía y Turismo, Escala de calificación energética de edificios de nueva construcción. Disponible en Junio de 2.015 en

[http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos\\_CALENER\\_07\\_Escala\\_Calif\\_Energetica\\_A2009\\_A\\_5c0316ea.pdf](http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_CALENER_07_Escala_Calif_Energetica_A2009_A_5c0316ea.pdf)

[w-11] MINETUR Ministerio de Industria, Energía y Turismo, Escala de calificación energética de edificios existentes. Disponible en Junio de 2.015 en

[http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos\\_11261\\_EscalaCalifEnerg\\_EdificiosExistentes\\_2011\\_accesible\\_c762988d.pdf](http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_11261_EscalaCalifEnerg_EdificiosExistentes_2011_accesible_c762988d.pdf)

[w-12] CTE Código Técnico de Edificación. DB-HE: Ahorro de Energía. Disponible en Junio de 2.015 en

[http://www.codigotecnico.org/cte/export/sites/default/web/galerias/archivos/DB\\_HE\\_septiembre\\_2013.pdf](http://www.codigotecnico.org/cte/export/sites/default/web/galerias/archivos/DB_HE_septiembre_2013.pdf)

[w-13] International Green Construction Code, publicado por International Code Council, disponible en Mayo de 2.015 en

<http://www.iccsafe.org/cs/igcc/pages/default.aspx?usertoken={token}&Site=icc>

[w-14] International Code Council, disponible en Abril de 2.015 en

<http://www.iccsafe.org>

[w-15] ASHRAE American Society of Heating, Refrigeration, and Air Conditioning Engineers. Disponible en Agosto de 2.015 en

[www.ashrae.org](http://www.ashrae.org)



## **ANEXO II.- LISTADO DE EMISORES DEL AULARIO**

<i>RESUMEN</i> .....	396
<i>ABSTRACT</i> .....	397
<i>AII.1. LISTADO DE EMISORES</i> .....	400



## **RESUMEN**

En el capítulo V se llevaron a cabo los cálculos necesarios para la obtención de los indicadores energéticos elegidos en nuestro método de referencia en el edificio Aulario de la Universidad de Valladolid.

En el apartado V.4.1. se hizo una descripción del sistema diseñado, en el cual se encontraban emisores a especificar en un posterior anexo.

Se procede aquí a detallar dichos emisores.



**ABSTRACT**

In chapter V the necessary calculations to obtain the energy indicators chosen in our reference method in the classroom building at the University of Valladolid are carried out.

En paragraph V.4.1. it was made a description of the designed system, which issuers were specified in a subsequent annex.

Here, these issuers have been detailed.



## AII.1. LISTADO DE EMISORES

Tabla AII.1.- Emisores diseñados en planta baja del aulario.

Recintos	Tipo	Pérdidas caloríficas (W)	Elementos		Longitud (mm)	Potencia (W)
			Número	Altura (mm)		
aseo alumnas1	2	4015	15	425	1200	1269
	1	4015	9	781	720	1384
	1	4015	9	781	720	1384
aseo alumnas2	2	4827	15	425	1200	1269
	1	4827	12	781	960	1845
	1	4827	12	781	960	1845
aseo alumnos1	1	5216	12	781	960	1845
	1	5216	11	781	880	1692
	1	5216	11	781	880	1692
aseo alumnos2	1	4021	21	781	1680	3229
	1	4021	6	781	480	923
aula1	1	19495	13	781	1040	1999
	1	19495	13	781	1040	1999
	1	19495	13	781	1040	1999
	1	19495	13	781	1040	1999
	1	19495	13	781	1040	1999
	1	19495	13	781	1040	1999
	1	19495	13	781	1040	1999
	1	19495	12	781	960	1845
	1	19495	12	781	960	1845
	1	19495	12	781	960	1845
aula2	1	18974	12	781	960	1845
	1	18974	12	781	960	1845
	1	18974	12	781	960	1845
	1	18974	12	781	960	1845
	1	18974	12	781	960	1845
	1	18974	12	781	960	1845
	1	18974	13	781	1040	1999
	1	18974	13	781	1040	1999
	1	18974	13	781	1040	1999
	1	18974	13	781	1040	1999
aula3	1	21656	11	781	880	1692
	1	21656	11	781	880	1692
	1	21656	11	781	880	1692
	1	21656	11	781	880	1692
	1	21656	11	781	880	1692
	1	21656	11	781	880	1692
	1	21656	19	781	1520	2922
	1	21656	19	781	1520	2922

	1	21656	18	781	1440	2768
	1	18552	11	781	880	1692
	1	18552	11	781	880	1692
	1	18552	11	781	880	1692
	1	18552	11	781	880	1692
aula4	1	18552	11	781	880	1692
	1	18552	11	781	880	1692
	1	18552	14	781	1120	2153
	1	18552	14	781	1120	2153
	1	18552	14	781	1120	2153
	1	18552	13	781	1040	1999
	1	18974	11	781	880	1692
	1	18974	11	781	880	1692
	1	18974	11	781	880	1692
	1	18974	11	781	880	1692
aula5	1	18974	11	781	880	1692
	1	18974	11	781	880	1692
	1	18974	15	781	1200	2307
	1	18974	15	781	1200	2307
	1	18974	14	781	1120	2153
	1	18974	14	781	1120	2153
	1	18955	11	781	880	1692
	1	18955	11	781	880	1692
	1	18955	11	781	880	1692
	1	18955	11	781	880	1692
aula6	1	18955	11	781	880	1692
	1	18955	11	781	880	1692
	1	18955	15	781	1200	2307
	1	18955	15	781	1200	2307
	1	18955	14	781	1120	2153
	1	18955	14	781	1120	2153
	1	18551	11	781	880	1692
	1	18551	11	781	880	1692
	1	18551	11	781	880	1692
	1	18551	11	781	880	1692
aula7	1	18551	11	781	880	1692
	1	18551	11	781	880	1692
	1	18551	14	781	1120	2153
	1	18551	14	781	1120	2153
	1	18551	14	781	1120	2153
	1	18551	13	781	1040	1999
	1	19915	11	781	880	1692
	1	19915	11	781	880	1692
aula8	1	19915	11	781	880	1692
	1	19915	11	781	880	1692
	1	19915	11	781	880	1692



	1	19915	11	781	880	1692
	1	19915	16	781	1280	2460
	1	19915	16	781	1280	2460
	1	19915	16	781	1280	2460
	1	19915	16	781	1280	2460
Despacho	1	207	20	781	1600	3076
	1	17332	20	781	1600	3076
	1	17332	20	781	1600	3076
hall1	1	17332	20	781	1600	3076
	1	17332	16	781	1280	2460
	1	17332	19	781	1520	2922
	1	17332	18	781	1440	2768
pasillo1	1	8126	11	781	880	1692
	1	8126	11	781	880	1692
	1	8126	8	781	640	1230
	1	8126	8	781	640	1230
	1	8126	8	781	640	1230
	1	8126	8	781	640	1230
pasillo2	1	8082	8	781	640	1230
	1	8082	8	781	640	1230
	1	8082	8	781	640	1230
	1	8082	8	781	640	1230
	1	8082	11	781	880	1692
	1	8082	11	781	880	1692
secretaria	1	208	20	781	1600	3076
Seminario 2	1	6018	11	781	880	1692
	1	6018	18	781	1440	2768
	1	6016	11	781	880	1692
Seminario1	1	6016	11	781	880	1692
	1	6016	18	781	1440	2768

Tabla AII.2.- Emisores diseñados en planta primera del aula.

Recintos	Tipo	Pérdidas caloríficas (W)	Elementos		Longitud (mm)	Potencia (W)
			Número	Altura (mm)		
aseos alumnas3	2	4338	15	425	1200	1269
	1	4338	10	781	800	1538
	1	4338	10	781	800	1538
aseos alumnas4	2	4790	18	425	1440	1523
	1	4790	11	781	880	1692
	1	4790	11	781	880	1692
aseos alumnos3	1	4790	25	781	2000	3844
	1	4790	7	781	560	1076
aseos alumnos4	1	4338	22	781	1760	3383
	1	4338	7	781	560	1076

aula10	1	20056	11	781	880	1692
	1	20056	11	781	880	1692
	1	20056	11	781	880	1692
	1	20056	11	781	880	1692
	1	20056	11	781	880	1692
	1	20056	11	781	880	1692
	1	20056	17	781	1360	2614
	1	20056	16	781	1280	2460
	1	20056	16	781	1280	2460
	1	20056	16	781	1280	2460
aula11	1	20980	11	781	880	1692
	1	20980	11	781	880	1692
	1	20980	11	781	880	1692
	1	20980	11	781	880	1692
	1	20980	11	781	880	1692
	1	20980	11	781	880	1692
	1	20980	18	781	1440	2768
	1	20980	18	781	1440	2768
	1	20980	18	781	1440	2768
	1	20980	17	781	1360	2614
aula12	1	19637	11	781	880	1692
	1	19637	11	781	880	1692
	1	19637	11	781	880	1692
	1	19637	11	781	880	1692
	1	19637	11	781	880	1692
	1	19637	11	781	880	1692
	1	19637	16	781	1280	2460
	1	19637	16	781	1280	2460
	1	19637	15	781	1200	2307
	1	19637	15	781	1200	2307
aula13	1	20056	11	781	880	1692
	1	20056	11	781	880	1692
	1	20056	11	781	880	1692
	1	20056	11	781	880	1692
	1	20056	11	781	880	1692
	1	20056	11	781	880	1692
	1	20056	17	781	1360	2614
	1	20056	16	781	1280	2460
	1	20056	16	781	1280	2460
	1	20056	16	781	1280	2460
aula14	1	20036	11	781	880	1692
	1	20036	11	781	880	1692
	1	20036	11	781	880	1692
	1	20036	11	781	880	1692
	1	20036	11	781	880	1692
	1	20036	11	781	880	1692

aula9	1	20036	17	781	1360	2614
	1	20036	16	781	1280	2460
	1	20036	16	781	1280	2460
	1	20036	16	781	1280	2460
	1	20036	11	781	880	1692
	1	20036	11	781	880	1692
	1	20036	11	781	880	1692
	1	20036	11	781	880	1692
	1	20036	11	781	880	1692
	1	20036	17	781	1360	2614
	1	20036	16	781	1280	2460
	1	20036	16	781	1280	2460
	1	20036	16	781	1280	2460
	1	30647	17	781	1360	2614
1	30647	17	781	1360	2614	
hall2	1	30647	14	781	1120	2153
	1	30647	14	781	1120	2153
	1	30647	14	781	1120	2153
	1	30647	14	781	1120	2153
	1	30647	14	781	1120	2153
	1	30647	17	781	1360	2614
	1	30647	17	781	1360	2614
	1	30647	19	781	1520	2922
	1	30647	19	781	1520	2922
	1	30647	19	781	1520	2922
	1	30647	19	781	1520	2922
pasillo3	1	12088	10	781	800	1538
	1	12088	10	781	800	1538
	1	12088	10	781	800	1538
	1	12088	10	781	800	1538
	1	12088	8	781	640	1230
	1	12088	8	781	640	1230
	1	12088	12	781	960	1845
	1	12088	11	781	880	1692
pasillo4	1	12084	11	781	880	1692
	1	12084	11	781	880	1692
	1	12084	8	781	640	1230
	1	12084	8	781	640	1230
	1	12084	8	781	640	1230
	1	12084	8	781	640	1230
	1	12084	13	781	1040	1999
	1	12084	12	781	960	1845
Sala de estudio	1	40643	11	781	880	1692
	1	40643	11	781	880	1692
	1	40643	11	781	880	1692
	1	40643	11	781	880	1692

	1	40643	11	781	880	1692
	1	40643	11	781	880	1692
	1	40643	11	781	880	1692
	1	40643	11	781	880	1692
	1	40643	11	781	880	1692
	1	40643	11	781	880	1692
	1	40643	11	781	880	1692
	1	40643	11	781	880	1692
	1	40643	23	781	1840	3537
	1	40643	22	781	1760	3383
	1	40643	22	781	1760	3383
	1	40643	22	781	1760	3383
	1	40643	22	781	1760	3383
	1	40643	22	781	1760	3383
	1	5725	11	781	880	1692
Sala de ordenadores	1	5725	11	781	880	1692
	1	5725	16	781	1280	2460
	1	5724	11	781	880	1692
Seminario3	1	5724	11	781	880	1692
	1	5724	16	781	1280	2460

