

PRINCIPIOS EN MATERIA DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EDIFICACIÓN





PRINCIPIOS EN MATERIA DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EDIFICACIÓN

Javier Manuel Juárez Martínez
Antonio Javier Siles Conejo

1.ª edición: diciembre 2020.

© de textos Javier Manuel Juárez Martínez y Antonio Javier Siles Conejo.

© de la edición, Fundación MUSAAT, todos los derechos reservados.

EDITA: Fundación MUSAAT, Calle del Jazmín, 66 - 28033 MADRID.

IMPRIME: Gráficas Hispania Valladolid, S.L. - Tfno.: 983 292 074.

DEPÓSITO LEGAL: M-30457-2020

ISBN: 978-84-09-26038-6

Prohibida la reproducción total o parcial, por cualquier medio,
sin el consentimiento previo, firmado y sellado por escrito,
de la Fundación MUSAAT.

ÍNDICE

Presentación..... 7

PARTE 1 **Introducción a la situación actual** **9**

Capítulo 1.º - Introducción histórica y escenario actual 11

 1.1 - Evolución y justificación del nivel de exigencia normativa actual en materia de eficiencia energética aplicada a la edificación 13

 1.2 - Escenario actual normativo en materia de eficiencia energética 17

 1.3 - Programas de modelado de comportamiento energético de edificaciones 19

Capítulo 2.º - Introducción a las salidas profesionales actuales para los técnicos en materia de eficiencia energética 23

 2.1 - Técnico integrado en el equipo de redacción de los documentos básicos 25

 2.2 - Técnico consultor para la generación de soluciones singulares 25

 2.3.- La figura técnica independiente o consultor para la certificación de estándares de alta eficiencia energética 28

 2.4.- La figura técnica para la ejecución de ensayos especializados (Termografía y Blower Door Test)..... 29

Capítulo 3.º - Introducción a las competencias generales y específicas a dominar por el profesional en materia de eficiencia energética..... 31

 3.1.- Interpretación y desarrollo de la normativa especializada en proyectos y otras intervenciones técnicas 33

 3.2 - Principios básicos. Cálculo de parámetros característicos de la envolvente térmica 35

 Cerramientos en contacto con el aire exterior..... 35

 Cerramientos en contacto con el terreno 37

 Particiones interiores en contacto con espacios no habitables 41

 Huecos y lucernarios. Transmisión térmica de huecos 44

 Transmitancia de la energía solar de elementos semitransparentes..... 44

 3.3.- Estudio y análisis del riesgo de condensaciones superficiales e intersticiales 50

 Condensaciones intersticiales 50

 Condensaciones superficiales 52

 3.4.- Cálculo y comprobación analítica de puentes térmicos 53

 Tipos de puentes térmicos 53

 Transmitancia térmica lineal (ψ) 55

 Atlas de puentes térmicos..... 55

 3.5.- Modelización energética 56

 3.6.- Certificación energética 58

 3.7.- Desarrollo y defensa de medidas de mejora para edificación existente 59

PARTE 2

Desarrollo de las novedades reglamentarias y recomendaciones para el ejercicio profesional

61

Capítulo 4.º - Novedades técnicas de CTE/DB.HE-2019.....	63
4.1.- Limitación del consumo energética HE-0	65
Ámbito de aplicación.....	65
Exclusión del ámbito de aplicación	65
Cuantificación de la exigencia.....	66
4.2.- Limitación de la demanda energética HE-1	68
Ámbito de aplicación.....	68
Exclusión del ámbito de aplicación	69
Coeficiente global de transmisión de calor a través de la envolvente térmica (k)	69
Control solar ($q_{sol;jul}$)	71
Permeabilidad al aire de la envolvente térmica Q_{100}	71
Relación del cambio de aire n_{50}	72
Transmitancia térmica máxima de cada elemento perteneciente a la envolvente térmica	73
Limitación de descompensaciones.....	74
Limitación de condensaciones en la envolvente térmica.....	74
4.3.- Instalaciones de iluminación HE-3	74
Ámbito de aplicación.....	74
Exclusión del ámbito de aplicación	74
Intervenciones en edificios existentes	75
Cuantificación de la exigencia.....	75
4.4.- Contribución mínima de energía renovable para cubrir la demanda de agua caliente sanitaria (HE-4)	78
Ámbito de aplicación.....	78
Cuantificación de la exigencia.....	78
Métodos de justificación de la utilización de bombas de calor para producción de ACS.....	79
Sistema de medida de energía suministrada.....	80
Cálculo de referencia de ACS.....	80
4.5.- Generación mínima de energía eléctrica (HE-5)	82
Ámbito de aplicación.....	82
Cuantificación de la exigencia.....	82

Capítulo 5.º - Recomendaciones prácticas para el ejercicio profesional	83
5.1.- Estrategias previas necesarias. Recomendaciones para el anteproyecto	85
5.2.- Recomendaciones para modelizar energéticamente un edificio nuevo / existente.....	86
5.3.- Recomendaciones para la comprobación y resolución de los puentes térmicos	86
5.4.- Recomendaciones para el análisis y estudio del riesgo de condensaciones	87
5.5.- Recomendaciones generales para la propuesta de soluciones constructivas.....	89
5.6.- Recomendaciones para el control de calidad final de obra: el Blower Door	90

PARTE 3 Ejemplos prácticos 93

Capítulo 6.º - Ejemplos prácticos de desarrollo de normativa específica	95
6.1.- Ejemplos de parámetros característicos de la envolvente térmica.....	97
Capítulo 7.º - Ejemplos de interpretación de ensayos (Blower Door y termografía).....	111
7.1.- Estanqueidad al aire de envolventes	113
7.2.- Metodología	113

Referencias 119

Bibliografía	121
Los autores	123
Javier Manuel Juárez Martínez	123
Antonio Javier Siles Conejo	125

PRESENTACIÓN

El sector de la edificación se encuentra ante los dos grandes retos técnicos de los últimos años: la transformación digital del sector de la construcción (BIM) y la transición ecológica para la descarbonización del parque inmobiliario, que ha aumentado las exigencias de eficiencia energética de los edificios. Estas exigencias se han incrementado exponencialmente en los últimos años y han conducido a una modificación de la normativa de ahorro energético en tres ocasiones en los últimos quince años.

Con la entrada en vigor del HE-2019, todas las edificaciones que realicemos se pueden considerar edificaciones de consumo casi nulo (ECCN), aproximándonos cada vez más al estándar de referencia Passivhaus.

Estos requerimientos implican que, después del cálculo de estructuras, el cumplimiento de la normativa de eficiencia energética sea la parte técnica más complicada en la justificación normativa actual.

Para cumplir en esta materia hay que conocer y dominar sistemas constructivos, física del comportamiento del calor, normativa específica, diseño y comportamiento de modelos energéticos. Además, hay que tener conocimientos especializados en eficiencia energética para poder interpretar los resultados del modelo energético y saber manejar programas de elementos finitos para el cálculo de puentes térmicos, condensaciones superficiales, etc.

Con esta publicación los autores pretenden iniciar al lector en el camino de especialización que hay que recorrer para profundizar en los conocimientos de esta materia.

Debemos entender estos cambios normativos como un cambio de paradigma en la construcción de edificios, ya que los tiempos del consumo ilimitado de recursos naturales han llegado a su fin y nuestro sector es uno de los mayores, si no el mayor, consumidores de recursos naturales tanto en el proceso de construcción como durante la vida útil de los edificios.

A los autores nos gustaría dedicar esta guía de principios en materia de eficiencia energética en edificación a nuestros familiares.

Javier Manuel Juárez Martínez

Antonio Javier Siles Conejo

Autores

PARTE 1

INTRODUCCIÓN A LA SITUACIÓN ACTUAL



PARTE I

CAPÍTULO 1.º

INTRODUCCIÓN HISTÓRICA
Y ESCENARIO ACTUAL



CAPÍTULO 1.º Introducción histórica y escenario actual

En este capítulo vamos a emprender un breve recorrido por la evolución de la eficiencia energética en los últimos años, así como por su influencia en el desarrollo de la normativa en edificación. También presentaremos un resumen de los parámetros y valores más importantes que se han visto modificados por el nuevo HE-2019, respecto al HE-2013.

1.1 - Evolución y justificación del nivel de exigencia normativa actual en materia de eficiencia energética aplicada a la edificación

En 1988 las Naciones Unidas crearon un Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), junto con la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y el programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Su finalidad era evaluar información científica, técnica y socioeconómica relevante para que la comunidad internacional pudiera considerar el proceso de toma de decisiones relativas a las causas, consecuencias y acciones necesarias para afrontar el cambio climático inducido por los seres humanos.



Imagen 1.1.

En 1992 se firmó una Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, ratificada por 195 países y que entró en vigor en 1994.

La convención reconoció la existencia del cambio climático y estableció un objetivo común: alcanzar la estabilización de las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera con el fin de impedir interferencias antropogénicas peligrosas en el sistema climático. Por otra parte, se indicó que esta estabilización debe alcanzarse en un plazo suficiente para permitir que los ecosistemas se adapten naturalmente al cambio climático, asegurar que la producción de alimentos no se vea amenazada y permitir que el desarrollo económico prosiga de manera sostenible.



Imagen 1.2.

En 1997, tres años después de la entrada en vigor de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) publicó su segundo informe de Evolución, donde se indica que el clima ya había comenzado a cambiar a causa de las emisiones de gases de efecto invernadero.

Los gobiernos acordaron incorporar una adición a la Comisión conocida con el nombre de Protocolo de Kioto. Este protocolo entró en vigor en 2005 y en él se establecieron, por primera vez, objetivos de reducción de emisiones netas de gases de efecto invernadero. Las emisiones de gases de efecto invernadero de los países industrializados deberían reducirse al menos un 5% por debajo de los niveles de 1990 en el período 2008-2012. Este compromiso es conocido como primer periodo de compromiso del Protocolo de Kioto.

La Unión Europea y sus Estados miembros asumieron, en el ámbito de este primer periodo de compromiso, la obligación de reducir las emisiones en un 8 % respecto al periodo base (1990/1995).



Kyoto Protocol

Imagen 1.3.

En 2012 se celebra en Doha una cumbre (COP 18/COP-MOP 8) donde se acordó dar continuidad al marco jurídico del Protocolo de Kioto a través de la adopción de las enmiendas necesarias para hacer posible su continuidad en un segundo periodo de compromiso a partir del 1 de enero de 2013. La adopción de estas enmiendas incluye:

- Los nuevos compromisos de las Partes del Anexo I del Protocolo de Kioto que accedieron a asumir compromisos en un segundo período, desde el 1 enero de 2013 hasta el 31 diciembre de 2020.
- Una lista revisada de los gases de efecto invernadero para el segundo período de compromiso.
- Enmiendas a varios artículos del Protocolo de Kioto, relacionadas con cuestiones específicamente pertenecientes al primer período de compromiso y que necesitaban ser actualizadas.



Imagen 1.4.

En 2015 se adopta, en la COP21, el Acuerdo de París, que tiene como objetivo evitar que el incremento de la temperatura media global del planeta supere los 2°C respecto a los niveles preindustriales y que busca, además, promover esfuerzos adicionales que hagan posible que el calentamiento global no supere los 1,5°C. El acuerdo recoge la mayor ambición posible para reducir los riesgos y los impactos del cambio climático en todo el mundo y, al mismo tiempo, incluye todos los elementos necesarios para que se pueda alcanzar este objetivo.

Por otro lado, reconoce la necesidad de que las emisiones globales toquen techo lo antes posible, asumiendo que esta tarea llevará más tiempo para los países en desarrollo. En cuanto a las sendas de reducción de emisiones a medio y largo plazo, se establece la necesidad de conseguir en la segunda mitad del siglo la neutralidad de las emisiones, es decir, un equilibrio entre las emisiones y las absorciones de gases de efecto invernadero.



Imagen 1.5.

Estas cumbres y protocolos han generado una serie de directivas en la Unión Europea, que ha ido desarrollando las diferentes normativas de Ahorro Energético que hemos conocido en los últimos años.

<p>Directiva 2002/91/CE relativa a la eficiencia energética de los edificios.</p>	 
<p>Directiva 2010/31/UE relativa a la eficiencia energética de los edificios.</p>	 <p>A partir de 2020</p>
<p>Directiva 2012/27/UE relativa a la eficiencia energética de los edificios.</p>	 
<p>Directiva 2018/844 relativa a la eficiencia energética de los edificios.</p>	  

Como se puede observar en el cuadro anterior, en la Directiva 2010/31/UE se define el concepto de edificio de consumo de energía casi nulo «como un edificio con un nivel de eficiencia energética muy alto, que se determinará de conformidad con el anexo I de la directiva. 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».

Un edificio de consumo de energía casi nulo es un edificio similar a un edificio Passivhaus. Este tipo de edificación tiene cinco principios básicos para reducir el consumo de energía en su climatización tanto en calefacción como en refrigeración. Estos principios son:

- Aislar adecuadamente los elementos opacos de la envolvente térmica.
- Utilizar ventanas y vidrios de alta eficiencia energética.
- Tratar o suprimir al máximo los puentes térmicos de la envolvente.
- Acotar el aumento de las renovaciones del aire interior por infiltraciones.
- Instalación de un sistema activo de recuperación de calor.

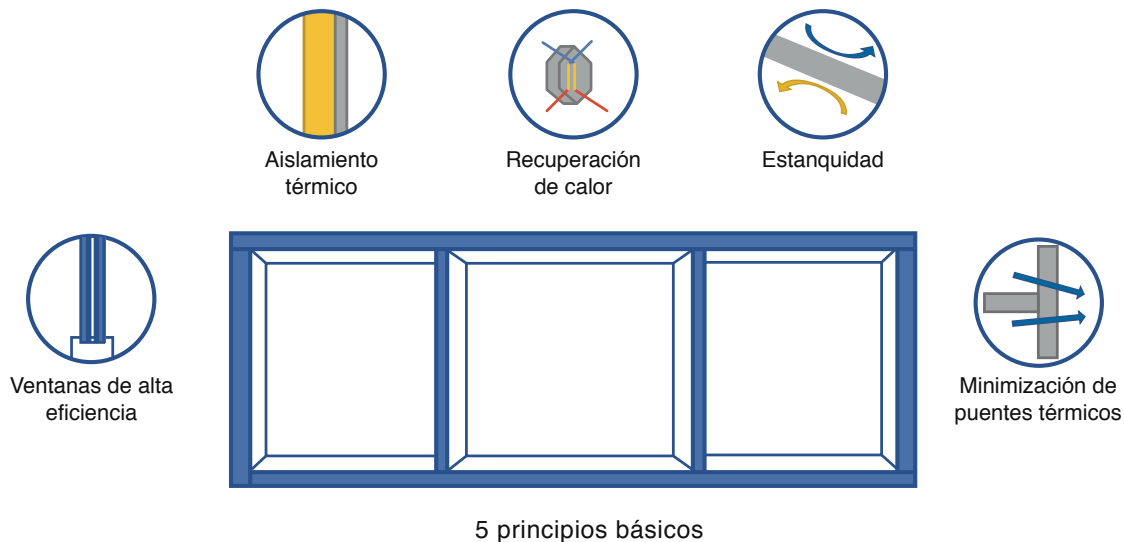


Imagen 1.6 (realizada por los autores).

• [Directiva 2018/844 relativa a la eficiencia energética de los edificios](#)

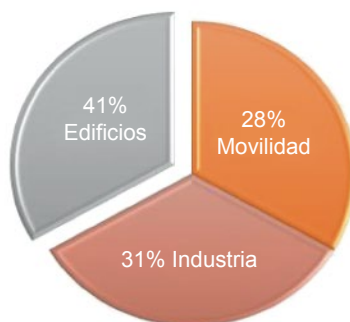
La Unión Europea hasta el año 2030 establece compromisos para seguir reduciendo emisiones de gases de efecto invernadero (al menos un 40 % de aquí a 2030, en comparación con 1990), aumentar la proporción de energía renovable consumida y conseguir un ahorro energético de acuerdo con las ambiciones a escala de la Unión.

La Unión Europea se ha comprometido a descarbonizar el parque inmobiliario, responsable de aproximadamente del 36 % de CO₂, de aquí a 2050.

Hay que tener en cuenta que casi el 50 % del consumo de energía final de la Unión Europea se destina a calefacción y refrigeración. De este 50 % se consume casi un 80 % en los edificios.

Edificios y energía

La eficiencia energética en los edificios es la clave para reducir el consumo energético mundial.



Consumo energético mundial.

Imagen 1.7 (realizada por los autores).

Cada Estado miembro debe establecer una estrategia a largo plazo para apoyar la renovación de sus parques nacionales de edificios residenciales y no residenciales, tanto públicos como privados, transformándolos en parques inmobiliarios con alta eficiencia energética (edificios de consumo de energía casi nulo) y descarbonizados antes de 2050. La hoja de ruta de cada Estado debe incluir hitos indicativos para 2030, 2040 y 2050.

Para lograr un parque inmobiliario descarbonizado y altamente eficiente desde el punto de vista energético y garantizar que las estrategias de renovación a largo plazo aporten los avances necesarios para transformar los edificios existentes en edificios de consumo de energía casi nulo, en particular mediante un aumento de las reformas profundas, los Estados miembros deben proporcionar unas orientaciones claras, definir acciones específicas y mensurables y promover un acceso igualitario a la financiación, en particular para los segmentos del parque inmobiliario nacional con peor rendimiento.

Las directrices de la Organización Mundial de la Salud de 2009 indican que, en lo relativo a la calidad del aire interior, los edificios más eficientes ofrecen un nivel de confort y bienestar más elevado a sus ocupantes y mejoran la salud. Los puentes térmicos, el aislamiento inadecuado y las vías de aire no planificadas pueden dar lugar a unas temperaturas superficiales por debajo del punto del rocío y ocasionar humedades. Por tanto, es fundamental garantizar un aislamiento completo y homogéneo del edificio, que incluya balcones, ventanas, tejados, paredes, puertas y suelos, y se debe prestar especial atención a prevenir que la temperatura de cualquier superficie interna del edificio descienda por debajo de la temperatura del punto de rocío.

Los mecanismos financieros, los incentivos y la movilización de las instituciones financieras para las renovaciones de los edificios en materia de eficiencia energética deben tener un papel central en las estrategias nacionales de renovación a largo plazo y contar con la promoción activa de los Estados miembros. Esto debe fomentar las hipotecas que tengan en cuenta la eficiencia energética (certificada) para las renovaciones de edificios y la promoción de las inversiones por parte de las autoridades públicas en un parque inmobiliario eficiente en el uso de la energía.

1.2 - Escenario actual normativo en materia de eficiencia energética

El Documento Básico HE-2019 ha modificado sustancialmente la versión del HE-2013, sobre todo en la limitación del consumo de la demanda de energía primaria no renovable, que se ha reducido considerablemente, dependiendo lógicamente de la zona climática donde este situada la edificación. De esta manera se potencia el uso de energía renovable. Además, aparece, por primera vez, el concepto de limitación de energía primaria total del edificio.

Asimismo cambia totalmente la forma de calcular la limitación de la demanda energética, que se ve sustituida por otro concepto de demanda que hace hincapié en las condiciones de calidad mínima de la envolvente térmica de los edificios. Debido a ello, se ha modificado el documento de apoyo DB-HE/1 de cálculo de parámetros característicos de la envolvente.

También se aumenta la contribución de energía renovable para la generación de agua caliente sanitaria. Se han visto modificadas, aunque quizás en menor medida, las instalaciones de iluminación y la generación mínima de energía eléctrica.

La normativa HE-2019 viene a regular los edificios de consumo energética casi nulo actualizando su definición.


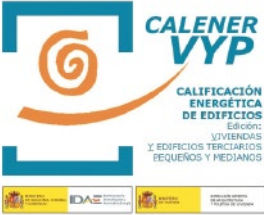

	HE-2013	HE-2019
HE-0	Limitación del consumo energético.	Limitación del consumo energético.
	Consumo de energía primaria no renovable $C_{ep,lim}$.	Consumo de energía primaria no renovable $C_{ep,nren,lim}$. Consumo de energía primaria total $C_{ep,tot}$.
HE-1	Limitación de la demanda energética.	Condiciones para el control de la demanda energética.
	Limitación energética de la calefacción $D_{cal,lim}$ Limitación energética de la refrigeración $D_{ref,lim}$. Limitación de descompensaciones. Limitación de condensaciones.	Coefficiente global de transmisión de calor a través de la envolvente térmica k_{lim} . Control solar de la envolvente térmica $q_{sol;jul;lim}$. Permeabilidad al aire de los huecos Q_{100} . Relación del cambio de aire n_{50} . Limitación de las descompensaciones. Limitación de condensaciones.
HE-2	Rendimiento de las instalaciones térmicas.	Condiciones de las instalaciones térmicas.
HE-3	Eficiencia energética de las instalaciones de iluminación.	Condiciones de las instalaciones de iluminación.
	Eficiencia energética de la instalación VEEI. Potencia instalada. Sistema de control y regulación.	Eficiencia energética de la instalación VEEI. Potencia instalada. Sistema de control y regulación.
HE-4	Contribución solar mínima de agua caliente sanitaria.	Contribución mínima de energía renovable para cubrir la demanda de agua caliente sanitaria.
	Contribución solar mínima dependiendo de la demanda y la zona climática de verano.	60-70% de la demanda de ACS cubierta por energía renovable.
HE-5	Contribución fotovoltaica mínima de energía eléctrica.	Generación mínima de energía eléctrica.
	Potencia eléctrica mínima a instalar.	Potencia eléctrica mínima a instalar.

Hay que tener en cuenta que, para cumplir el CTE HE – 2019, se hace imprescindible proceder con el cálculo de la limitación de condensaciones superficiales e intersticiales en los cerramientos y puentes térmicos, así como la transmitancia térmica lineal de los puentes térmicos. Estos cálculos los regula el DB-HE/2 y HE/3.

1.3 - Programas de modelado de comportamiento energético de edificaciones

En el mercado tenemos actualmente una serie de herramientas informáticas reconocidas por el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico.

En los primeros años de la entrada en vigor del HE-2006, la Dirección General de Arquitectura, Vivienda y Suelo del Ministerio de Fomento, desarrolló los programas LIDER, CALENER VYP, CALENER GT y unas fichas justificativas de la opción simplificada, para poder dar cumplimiento a la normativa en materia de eficiencia energética, tanto en edificaciones residenciales y pequeños y medianos terciarios, como en grandes terciarios.

	<p>Cumplimiento de la limitación de la demanda energética (HE-1) en edificaciones residenciales y en pequeños y medianos terciarios.</p>
	<p>Calificación energética de edificaciones residenciales y en pequeños y medianos terciarios.</p>
	<p>Calificación energética de grandes terciarios.</p>

Posteriormente por parte de la Conselleria de Vivienda, Obras Públicas y Vertebración del Territorio de la Generalitat Valenciana, el Instituto Valenciano de la Edificación (IVE) y la Asociación Técnica Española de Climatización y Refrigeración (ATECYR) han desarrollado el programa informático simplificado CERMA con el que podemos dar cumplimiento a la normativa de eficiencia energética solo en edificaciones residenciales.

Con la entrada en vigor del HE-2013, que sustituyó a la normativa HE-2006, la Dirección General de Arquitectura, Vivienda y Suelo del Ministerio de Fomento unificó en una sola herramienta informática los

programas LIDER y CALENER VYP, obteniendo como resultado la Herramienta Unificada Lider Calener – HULC –. Asimismo, quedó derogada la utilización de las fichas justificativas de la opción simplificada. En la herramienta HULC se incorporó la nueva limitación que se desarrolló en el HE-2013: Limitación del consumo energético HE-0.

<p style="text-align: center;">Herramienta Unificada LIDER - CALENER</p> <p style="text-align: center;">Herramienta Unificada para la Verificación del Documento Básico HE del CTE y la Certificación Energética de Edificios</p> 	<p>Cumplimiento de la limitación de la demanda energética (HE-1) en edificaciones residenciales y en pequeños y medianos terciarios, así como en grandes terciarios.</p> <p>Cumplimiento de la limitación del consumo energético (HE-0) en edificaciones residenciales y en pequeños y medianos terciarios, así como en grandes terciarios.</p> <p>Calificación energética de edificaciones residenciales, y pequeños y medianos terciarios.</p>
	<p>Calificación energética de grandes terciarios.</p>
	<p>Cumplimiento de la limitación de la demanda energética (HE-1), limitación del consumo energético (HE-0) y calificación energética, de edificaciones residenciales.</p>

A partir de julio de 2018, el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico admitió para la calificación energética de edificios los siguientes programas:

- CYPETHERM HE Plus
- SG SAVE
- Complemento CE3X para edificios nuevos

CYPETHERM HE Plus es un programa desarrollado por CYPE. Está concebido para la justificación normativa del HE-0 y HE-1 y la calificación energética de cualquier tipo de edificio mediante un modelo del edificio para la simulación energética calculado con EnergyPlus.

SG SAVE es un programa desarrollado por Saint Gobein y Efinovatic, también concebido para la justificación normativa del HE-0 y HE-1 y la calificación energética de cualquier tipo de edificio. Permite modelar un edificio con SketchUp y utiliza como motor de cálculo EnergyPlus.

Complemento CE3X para edificios nuevos es un programa desarrollado por CENER y Efinovatic. Está igualmente concebido para la justificación normativa del HE-0 y HE-1 y la calificación energética de edificios de viviendas y para pequeños y medianos terciarios.

Actualmente disponemos, pues, de las siguientes herramientas informáticas para cumplir las exigencias del HE-0, HE-1 y la calificación energética.

<p>Herramienta Unificada LIDER - CALENER</p> <p>Herramienta Unificada para la Verificación del Documento Básico HE del CTE y la Certificación Energética de Edificios</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - Cumplimiento de la limitación de la demanda energética (HE-1) en edificaciones residenciales y en pequeños y medianos terciarios, así como en grandes terciarios. - Cumplimiento de la limitación del consumo energético (HE-0) en edificaciones residenciales y en pequeños y medianos terciarios, así como en grandes terciarios. - Calificación energética de edificaciones residenciales y pequeños y medianos terciarios.
	<ul style="list-style-type: none"> - Calificación energética de grandes terciarios.
	<ul style="list-style-type: none"> - Cumplimiento de la limitación de la demanda energética (HE-1), limitación del consumo energético (HE-0) y calificación energética de edificaciones residenciales.
	<ul style="list-style-type: none"> - Cumplimiento de la limitación de la demanda energética (HE-1), limitación del consumo energético (HE-0) y calificación energética de cualquier tipo de edificación, incluso gran terciario.
	<ul style="list-style-type: none"> - Cumplimiento de la limitación de la demanda energética (HE-1), limitación del consumo energético (HE-0) y calificación energética, de cualquier tipo de edificación, incluso gran terciario.
	<ul style="list-style-type: none"> - Calificación energética de cualquier tipo de edificación: residencial, pequeños, medianos y grandes terciarios. - Este complemento no justifica la limitación de la demanda energética (HE-1) y la limitación del consumo energético (HE-0).

La capacidad de los procedimientos de cálculo para obtener resultados con precisión suficiente se puede acreditar utilizando los siguientes motores de cálculo: DOE2, BLAST, ESP, SRES/SUN (SERIRES/SUNCODE), SERIRES, S3PAS (LIDER/CALENER), TAS, TRNSYS y EnergyPlus. En caso de utilizar aplicaciones distintas en un procedimiento de cálculo, se debe verificar que el procedimiento no se desvía en más de un 15 % de los valores obtenidos por alguno de los motores de cálculo indicados anteriormente.

Es importante considerar la necesidad de manejar algún programa de cálculo de puentes térmicos, más concretamente del cálculo de la transmitancia térmica lineal y del factor de temperatura de la superficie interior $f_{R_{SI}}$, así como alguna herramienta de cálculo de condensaciones intersticiales, ya que para el cumplimiento normativo es imprescindible comprobar las limitaciones de las condensaciones superficiales e intersticiales y también determinar la magnitud de la transmitancia térmica lineal de los puentes térmicos.

En el mercado existen varios programas de simulación de puentes térmicos, tanto gratuitos como de pago:

- Molde PRO4 de DartWin: software de elementos finitos 2D o 3D para el cálculo de puentes térmicos y el análisis de condensaciones, mediante norma ISO 10211.
- TerMus Bridge: software para el cálculo de puentes térmicos y condensaciones, con análisis a elementos finitos según las normas técnicas EN ISO 10211:2008, EN ISO 14683:2008 y EN ISO 13788:2013.
- Flixo Energy: software de elementos finitos para el cálculo de puentes térmicos y condensaciones, mediante norma EN-ISO 10211:2007.
- Therm: software de elementos finitos desarrollado por el laboratorio nacional Lawrence Berkeley (LBNL), este programa nos facilita los datos necesarios para calcular la transmitancia térmica lineal y factor de temperatura de la superficie interior $f_{R_{SI}}$.
- eCondensa2: software para el cálculo de condensaciones intersticiales y superficiales desarrollado por D. Germán Campos, conforme DB-DA-HE/2.

Los tres primeros programas de cálculo aportan directamente los datos de transmitancia térmica lineal y el cálculo de condensaciones, sin necesidad de ningún cálculo posterior. En contrapartida son programas de pago.

Therm facilita el flujo de calor y la temperatura mínima interior para, posteriormente, realizar un cálculo aparte y determinar la transmitancia térmica lineal y el factor de temperatura de la superficie interior $f_{R_{SI}}$. Es un programa totalmente gratuito y en constante actualización.

eCondensa2 facilita el cálculo de condensaciones intersticiales y superficiales de los paquetes de la envolvente térmica. Es una sencilla aplicación y nos facilita el cálculo de dichas condensaciones.

Hay que tener en cuenta que ningún programa informático para el cumplimiento del HE-0, HE-1 y calificación energética calculan por sí mismos la transmitancia térmica lineal y las condensaciones superficiales de los puentes térmicos. Siempre vamos a tener que recurrir un programa de cálculo de puentes térmicos.

Hay programas como CYPETHERM HE PLUS que calculan las condensaciones superficiales e intersticiales de los paquetes de la envolvente térmica tal como lo hace eCondensa2. En cambio, la Herramienta Unificada Lider Calener (HULC) no hace ningún tipo de cálculo en este sentido.

Por último, nos gustaría reflejar en este apartado la existencia de programas informáticos que permiten un mayor análisis del comportamiento térmico/energético de una edificación, aunque, al no ser herramientas reconocidas por el ministerio, una vez terminado este análisis debemos utilizar por una de estas herramientas reconocidas para obtener la calificación energética de la edificación. Algunas de estas herramientas son:

- Open Studio: permite analizar el modelado realizado en SketchUp con EnergyPlus. Es una herramienta gratuita.
- DesignBuilder: programa de simulación de edificios que se sustenta en el motor EnergyPlus. Es una herramienta de pago.

CAPÍTULO 2.º

INTRODUCCIÓN A LAS
SALIDAS PROFESIONALES
ACTUALES PARA LOS
TÉCNICOS EN MATERIA DE
EFICIENCIA ENERGÉTICA



CAPÍTULO 2.º **Introducción a las salidas profesionales actuales para los técnicos en materia de eficiencia energética**

La normativa vigente en materia de eficiencia energética reclama un grado de excelencia tal que puede tener la capacidad de condicionar de forma más que notable el proyecto y los sistemas constructivos de cualquier intervención y/o proyecto de edificación tanto de nueva planta como de rehabilitación y reforma. Esto implica la necesidad de incorporar al proceso edificatorio desde sus inicios a técnicos especialistas en esta materia.

A continuación, nos referiremos a los diferentes desempeños profesionales que se hacen necesarios en el mercado de la edificación en relación con la disciplina de la eficiencia energética aplicada.

2.1 - Técnico integrado en el equipo de redacción de los documentos básicos

Hoy en día, la tarea de elaborar un proyecto de edificación se ha vuelto cuanto menos densa y compleja, tanto por el número de disciplinas que deben dominarse y justificarse como por el grado de exigencia normativa que se le impone a cada una de ellas.

De esta exigencia normativa, tanto en lo referente a los documentos básicos de obligado cumplimiento, como al resto de cálculos y otros auxiliares que se necesiten, se deriva la necesidad de contar con varios especialistas para poder dar respuesta adecuada y en tiempo y forma a un proyecto de cierta entidad.

Por lo que se refiere a eficiencia energética, se requieren especialistas que a nivel de proyecto se enfrenten a una de las disciplinas que mayor peso específico y calado tienen, puesto que su aplicación puede cuestionar e influir en aspectos concernientes a estructuras, habitabilidad, salubridad, etc.

A continuación, se mencionan las competencias con las que deberían contar estos profesionales, especialistas en eficiencia energética integrados en el equipo redactor del proyecto, para la elaboración de la documentación específica que corresponde a su especialidad:

- Conocimientos suficientes en todas las disciplinas reguladas por la normativa de obligado cumplimiento.
- Dominio de las herramientas informáticas comunes para el equipo de proyecto y específicas para su área de desempeño.
- Suficiente grado de conocimiento técnico en construcción, instalaciones, legislación, valoración y gestión de proyectos.
- Dominio de competencias transversales como la seguridad y salud, el control de calidad, la coordinación y colaboración práctica entre los diferentes integrantes del equipo.

2.2 - Técnico consultor para la generación de soluciones singulares

Actualmente es tal la variedad disponible de sistemas de instalaciones y soluciones constructivas, que los proyectistas se ven obligados a tomar en consideración aquellas que puedan dar respuesta óptima al mayor porcentaje posible de sus trabajos ordinarios.

Estos sistemas e instalaciones, con el uso continuado, llegan a parametrizarse y automatizarse de forma tal que no necesitan de mayor esfuerzo al normal desempeño para su adecuada justificación e incorporación a los proyectos.

Llegado el momento de proponer soluciones y sistemas alternativos, por la causa que sea (incremento del grado de exigencia normativo, racionalización de costes, etc.), puede darse el caso de que su naturaleza específica haga necesaria la participación de un profesional con conocimientos avanzados y probada solvencia para justificar la elección, tanto en el plano técnico como en el económico y legal.

Así pues, esta figura se hace necesaria, de manera paralela al ejercicio de innovación de cualquier despacho de proyectos, en el momento en que se tratan de introducir cambios sustanciales en las soluciones constructivas o cuando se carece de ellas para dar respuesta a nuevas necesidades de diseño.

El desempeño de esta figura profesional no tiene tanto que ver con la justificación de los documentos básicos específicos en eficiencia energética como con un trabajo más multidisciplinar y profundo, por lo que se requerirá un alto grado de conocimientos en todas las áreas transversales del proyecto además de las propias de su especialidad, ya que sus propias decisiones pueden incluso llegar a condicionar de partida cualquier proyecto en todas sus dimensiones.

La exigencia normativa en materia de eficiencia energética es tal hoy día, que no es de extrañar que esta intervención profesional participe ya en los primeros pasos del proceso de diseño pues será necesario aportar la máxima seguridad en cuanto a las consecuencias de una u otra decisión proyectual.

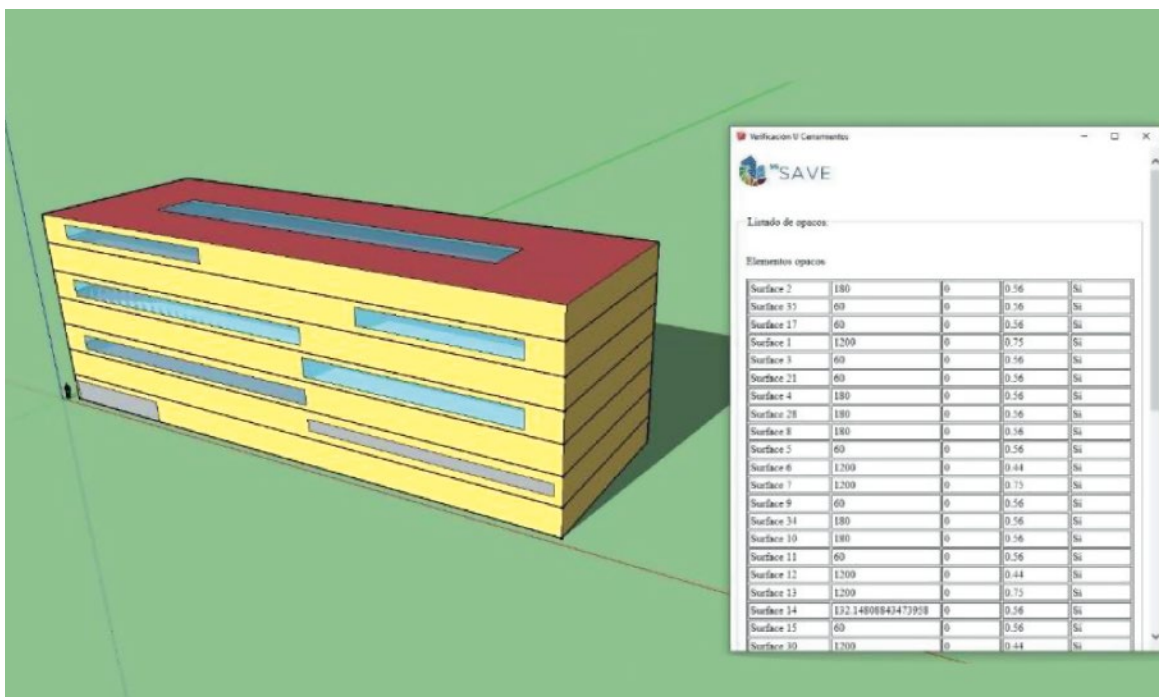


Imagen 2.1: Primeros análisis energéticos conceptuales (fuente: los autores). Software: SG SAVE – Efinovatic.

Hoy día se cuenta con las herramientas de software que nos pueden aproximar de una forma ágil al resultado energético final en un estadio muy preliminar y, quizá lo más importante, reaccionar con la necesaria agilidad a las más que habituales y necesarias versiones y cambios con mayor o menor caudal en esta fase del proyecto.

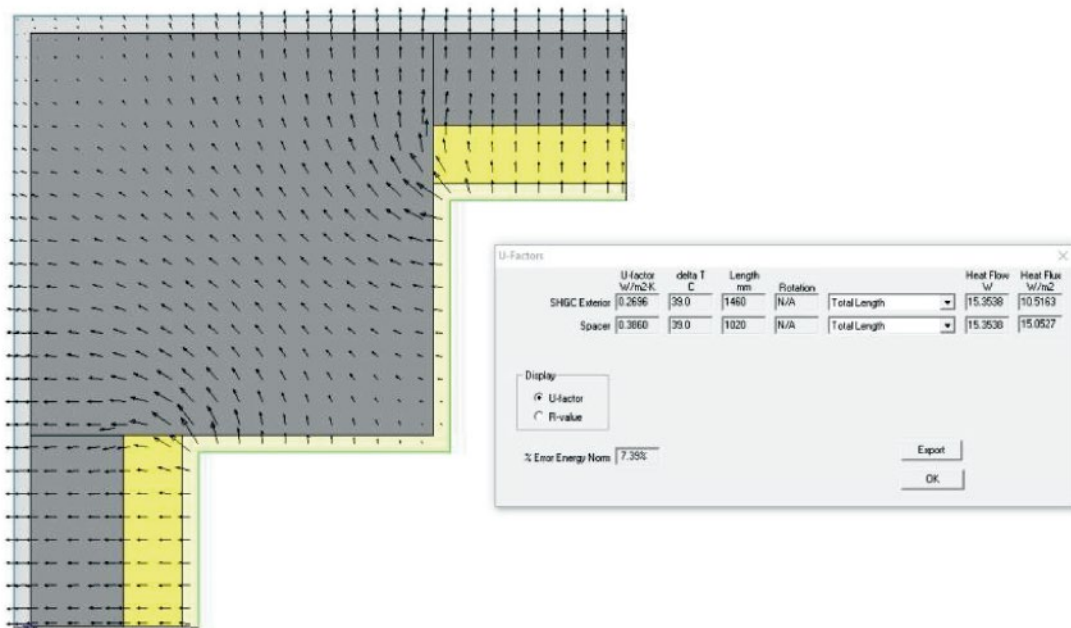


Imagen 2.2: Análisis bidimensional de puente térmico (fuente: los autores). Software: THERM.

Este técnico contará con toda una serie de herramientas especializadas destinadas a la evaluación preliminar también de los puntos singulares que empezarán a hilvanar la concepción constructiva del proyecto final.

Y ya por último, este profesional colaborará con el resto del equipo de proyecto en la definición constructiva al detalle, que hasta ese momento quizá únicamente haya necesitado de valores referenciales (Valores de U, K, λ , etc), y es ahora cuando deberá quedar justificado el cumplimiento de la normativa vigente.

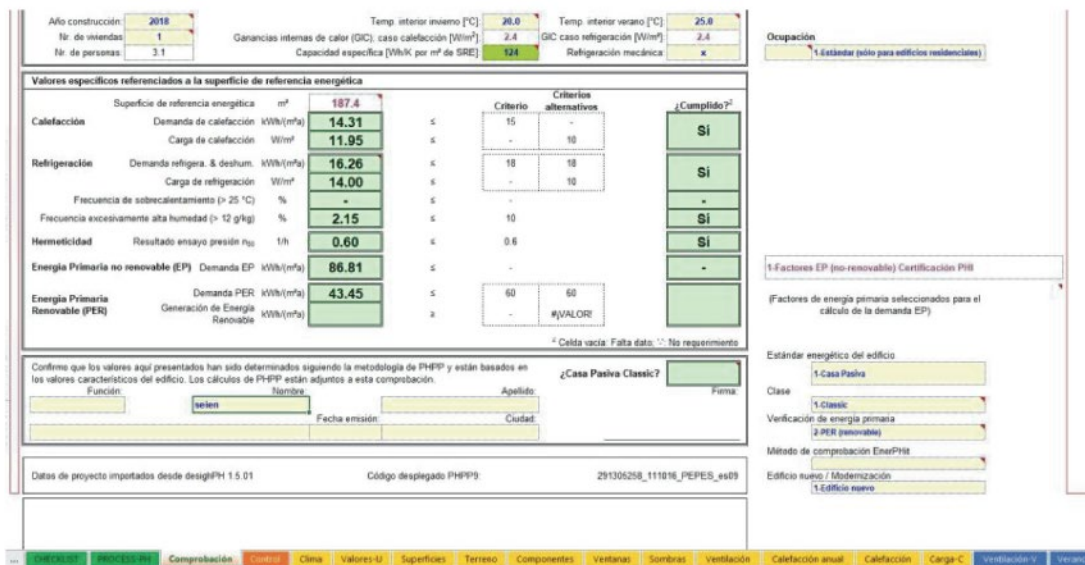
A continuación, relacionamos las competencias con las que deberían contar estos profesionales para un correcto desempeño profesional:

- Conocimientos profundos en todas las disciplinas reguladas por la normativa de obligado cumplimiento en su área de desempeño, dado el amplio alcance de sus decisiones y justificaciones.
- Dominio de las herramientas informáticas comunes para el equipo de proyecto y específicas para su área de desempeño.
- Dominio de la técnica y de aquellas herramientas informáticas específicas para el cálculo y justificación de parámetros concretos, (transmitancias térmicas, puentes térmicos, cálculo de condensaciones, cálculos de valores de demanda energética, eficiencia de las instalaciones, cálculo de emisiones, etc.).
- Conocimientos avanzados en construcción, instalaciones, legislación, valoración y gestión de proyectos.
- Dominio de competencias transversales como la seguridad y salud, el control de calidad, la coordinación y colaboración práctica entre los diferentes integrantes del equipo.

2.3.- La figura técnica independiente, consultor para la certificación de estándares de alta eficiencia energética

Nos referimos ahora a los profesionales especializados en el diseño y justificación de los estándares constructivos y certificaciones medioambientales, todos ellos especializados en eficiencia energética y de carácter voluntario (Passivhaus, Breeam, Minergie, Leed, Verde, etc.).

Estos técnicos deben incorporarse al desarrollo del proyecto desde los primeros estadios del mismo.



Valores específicos referenciados a la superficie de referencia energética				Temp. interior invierno [°C]	Temp. interior verano [°C]
Superficie de referencia energética	m ²	187.4		20.0	25.8
Calefacción	Demanda de calefacción kWh/(m ² a)	14.31	s	2.4	GIC caso calefacción [W/m ²]
	Carga de calefacción W/m ²	11.95	s		GIC caso refrigeración [W/m ²]
Refrigeración	Demanda frigorífica & deshum. kWh/(m ² a)	16.26	s	124	Refrigeración mecánica
	Carga de refrigeración W/m ²	14.00	s		
	Frecuencia de sobrecalentamiento (> 25 °C) %	-	s		
	Frecuencia excesivamente alta humedad (> 12 gr/g) %	2.15	s	10	
Hermeticidad	Resultado ensayo presión n ₅₀ 1/h	0.60	s	0.6	
Energía Primaria no renovable (EP)	Demanda EP kWh/(m ² a)	86.81	s	-	
Energía Primaria Renovable (PER)	Demanda PER kWh/(m ² a)	43.45	s	60	60
	Generación de Energía Renovable kWh/(m ² a)		s	-	#VALOR

¿Casa Pasiva Classic?

Función: Nombre: Apellido: Firma:

Fecha emisión: Ciudad:

Datos de proyecto importados desde designPH 1.5.01 Código desplegado PHPP9: 291306258_111016_PEPES_es09

Estándar energético del edificio:
 Clase:
 Verificación de energía primaria:
 Método de comprobación EnerPHit:
 Edificio nuevo / Modernización:

Imagen 2.3: Software del cálculo especializado (fuente: los autores) Software: PHPP – Passivhaus Institut.

Esta figura técnica se caracteriza por trabajar en base a un protocolo definido por una entidad con el rango de certificadora del proceso que trace el alcance de la misión técnica, el para qué y sobre todo el cómo.

Cuenta con valores de referencia a alcanzar y, sobre todo, con procedimientos formales estandarizados (documentación a presentar y justificar en tiempo y forma) y con herramientas específicas y de obligado cumplimiento para alcanzar la certificación.

Esta faceta profesional se deriva de una autoexigencia voluntaria ya que va más allá de lo exigido por la normativa de obligado cumplimiento en nuestro país.

Estos estándares medio ambientales podrían definirse como el más alto objetivo de la eficiencia energética, ya que el grado de exigencia y de control sobre el resultado final es máximo.

A continuación, se mencionan las competencias con las que deberían contar estos profesionales para un correcto desempeño profesional:

- Conocimientos profundos en todas las disciplinas reguladas por la normativa de obligado cumplimiento en su área de desempeño, dado el amplio alcance de sus decisiones y justificaciones.
- Dominio de las herramientas informáticas comunes para el equipo de proyecto y específicas para su área de desempeño.
- Dominio exhaustivo de las herramientas informáticas específicas para dar cumplimiento al estándar de construcción o certificación que se esté tratando.

2.4.- La figura técnica para la ejecución de ensayos especializados (Termografía y Blower Door Test)

Los progresivos avances en eficiencia energética hacen necesaria una figura especializada y totalmente independiente para la adecuada y progresiva implantación en nuestro país de estas técnicas de ensayo, tan necesarias como novedosas para la gran mayoría de profesionales del sector.

Estas técnicas de ensayo deberán llevarse a cabo por especialistas en la materia para que el mercado valore adecuadamente su utilidad.

En el momento en que se redactan estas líneas, estos ensayos tienen un carácter optativo y no son de obligado cumplimiento. Sin embargo, la recomendación e incluso la necesidad de incluirlos en la práctica cotidiana está sobradamente probada en los países con tradición y especialización en materia de alta eficiencia energética.

A continuación, pasamos a relacionar las competencias con las que deberían contar estos profesionales para un correcto desempeño profesional:

- Conocimientos suficientes en todas las disciplinas reguladas por la normativa de obligado cumplimiento en su área de desempeño.
- Conocimientos suficientes de las herramientas informáticas específicas para dar cumplimiento al estándar de construcción o certificación que se esté tratando.
- Conocimientos muy profundos y experimentados en lo referente a la puesta en práctica e interpretación de los ensayos específicos exigidos por el estándar o certificación en cuestión.

CAPÍTULO 3.º

INTRODUCCIÓN A LAS
COMPETENCIAS GENERALES
Y ESPECÍFICAS A DOMINAR
POR EL PROFESIONAL EN
MATERIA DE EFICIENCIA
ENERGÉTICA



CAPÍTULO 3.º Introducción a las competencias generales y específicas a dominar por el profesional en materia de eficiencia energética

En este capítulo desarrollaremos una serie de conceptos básicos que hay que conocer para poder enfrentarse a un modelado/cálculo en eficiencia energética en edificación.

Para iniciar este desarrollo de conceptos básicos se realizará una breve interpretación de la normativa específica y se expondrán una serie de fundamentos básicos para poder conocer el comportamiento del calor en cada uno de los elementos de la envolvente térmica, así como la influencia de los elementos de sombra. Se continuará con unas breves explicaciones del cálculo y comprobación de humedades de condensación y el cálculo y comprobaciones de puentes térmicos. Por último, se ofrecerán unas breves aclaraciones sobre la modelización y la certificación energética y el desarrollo de medidas de mejora.

Estos fundamentos básicos son los siguientes:

- Interpretación y desarrollo de la normativa especializada en proyectos y otras intervenciones técnicas.
- Cálculo de parámetros característicos de la envolvente (fundamentos tratados en el DA DB-HE/1). En este punto se estudiarán los diferentes procedimientos de cálculo de la transmitancia térmica de los elementos que conforman la envolvente térmica de una edificación.
- Estudio y análisis del riesgo de condensaciones superficiales e intersticiales (fundamentos tratados en el DA DB-HE/2).
- Cálculo y comprobación analítica de puentes térmicos (fundamentos tratados en el DA DB-HE/3).
- Modelización energética.
- Certificación energética.
- Desarrollo y defensa de medidas de mejora.

3.1.- Interpretación y desarrollo de la normativa especializada en proyectos y otras intervenciones técnicas

Las estrategias para una edificación sostenible y más eficiente consisten principalmente en desarrollar los siguientes puntos:

- Optimización de los recursos naturales.
- Disminución del consumo energético y usos de energías renovables.
- Disminución de residuos, emisiones y ruido generados.
- Disminución del mantenimiento, explotación y uso de los edificios.

La normativa española en materia de eficiencia energética de los edificios únicamente desarrolla los procedimientos de disminución de consumo energético y usos de energías renovables. Estos son:

- Aumento de eficiencia energética de las instalaciones.
- Reducción de la demanda energética de los edificios.
- Utilización de fuentes de energías renovables.

El CTE – HE indica en sus exigencias básicas la normativa que regula los procedimientos anteriores.

Normativa aplicada	Estrategias de disminución del consumo y usos de energías renovables
HE – 0	Aumento de eficiencia energética de las instalaciones.
HE – 1	Reducción de la demanda energética de los edificios.
HE – 4 y 5	Utilización de fuentes de energías renovables.

Por lo que se refiere a los edificios de consumo casi nulo, desde el 28 de diciembre de 2019 está en vigor la normativa CTE-DB-HE-2019, que viene a regular su ejecución.

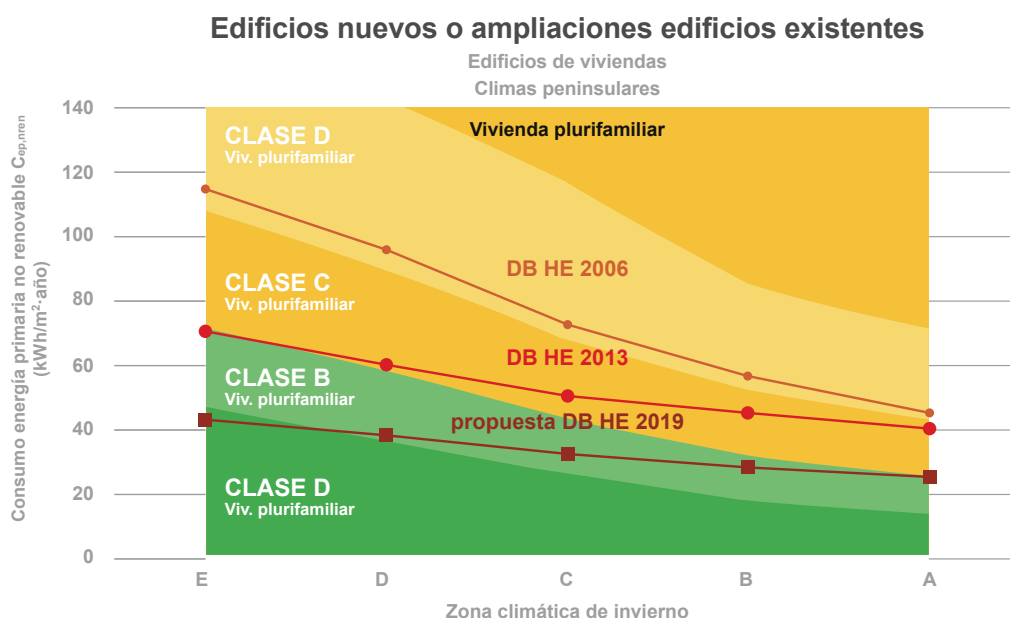


Imagen 3.1.

En el gráfico anterior (imagen 3.1), podemos observar la evolución de la limitación de consumo energético de energía primaria no renovable desde antes de la entrada en vigor del HE-2006 hasta la actualidad.

Como hemos comentado anteriormente, la normativa aplicable a la eficiencia energética de edificios es el CTE-DB-HE 2019. Sin embargo no hay que olvidar la existencia de otra normativa que es fundamental para la eficiencia energética de los edificios que es el CTE-DB-HS 3.

Hay que tener en cuenta que al aumentar la eficiencia energética de los edificios también estamos aumentando la estanqueidad de la envolvente térmica, ya que se está disminuyendo la permeabilidad de los huecos y se está limitando la relación de cambio de aire entre el exterior e interior de la envolvente. Por tanto, si no se dispone de un sistema artificial de ventilación, se producirá un aumento excesivo de CO₂ lo que ocasionará un ambiente insalubre, un aumento de la humedad relativa del ambiente y problemas de humedades de condensación superficial.

3.2 - Principios básicos. Cálculo de parámetros característicos de la envolvente térmica

3.2.1 Cerramientos en contacto con el aire exterior

Este cálculo solo es aplicable a los elementos opacos de la envolvente térmica en contacto con el aire exterior.

La resistencia térmica de cada capa que configura la envolvente térmica se calcula con la siguiente expresión:

$$R = \frac{e}{\lambda} (m^2K/W)$$

- e : espesor de la capa [m]. En caso de una capa de espesor variable se considera el espesor medio;
- λ : conductividad térmica de diseño del material que compone la capa, que se puede calcular a partir de los valores térmicos declarados según la norma UNE-EN 10456:2012. En el caso de materiales heterogéneos, como las fábricas, se puede considerar la conductividad equivalente del conjunto.

La resistencia térmica total (R_T) es el sumatorio de todas las resistencias (R) de cada una de las capas que configuran la envolvente térmica.

Dentro de este sumatorio, hay que tener en cuenta las resistencias térmicas superficiales correspondientes al aire interior y exterior (R_{si} y R_{se}), obtenidas de la tabla 1 (Imagen 3.2).

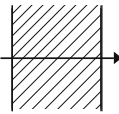
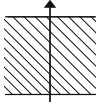
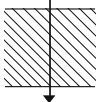
Posición del cerramiento y sentido del flujo de calor		R_{se}	R_{si}
Cerramientos verticales o con pendiente sobre la horizontal > 60° y flujo horizontal.		0,04	0,13
Cerramientos horizontales o con pendiente sobre la horizontal ≤ 60° y flujo ascendente (techo.)		0,04	0,10
Cerramientos horizontales y flujo descendente (suelo).		0,04	0,17

Imagen 3.2 (CTE DA-DB HE/1): **Tabla 1. Resistencias térmicas superficiales de cerramientos en contacto con el aire exterior [m² ·K/W].**

Al pasar el calor de un fluido a un sólido, es decir, del aire a un elemento constructivo, se produce una resistencia a este paso, denominada resistencia superficial.

Las cámaras de aire pueden ser caracterizadas por su resistencia térmica, según las siguientes tipologías:

Cámara de aire sin ventilar.	<p>Aquella en la que no existe ningún sistema específico para el flujo del aire a través de ella. Una cámara de aire que no tenga aislamiento entre ella y el ambiente exterior, pero con pequeñas aberturas al exterior, puede también considerarse como cámara de aire sin ventilar si esas aberturas no permiten el flujo de aire a través de la cámara y no exceden de 500 mm² por m de longitud contado horizontalmente para cámaras de aire verticales y 500 mm² por m² de superficie para cámaras de aire horizontales.</p> <p>La resistencia térmica de las cámaras de aire sin ventilar viene definida en la tabla 2 (Imagen 3.3).</p>
Cámara de aire ligeramente ventilada.	<p>Aquella en la que no existe un dispositivo para el flujo de aire limitado a través de ella desde el ambiente exterior, pero con aberturas dentro de los siguientes rangos:</p> <p>500 mm² < S_{aberturas} ≤ 1500 mm² por m de longitud contado horizontalmente para cámaras de aire verticales;</p> <p>500 mm² < S_{aberturas} ≤ 1500 mm² por m² de superficie para cámaras de aire horizontales.</p> <p>La resistencia térmica de una cámara de aire ligeramente ventilada es la mitad de los valores de la tabla 2 (Imagen 3.3).</p>
Cámara de aire muy ventilada.	<p>Aquella en que los valores de las aberturas exceden: i) 1500 mm² por m de longitud contado horizontalmente para cámaras de aire verticales; ii) 1500 mm² por m² de superficie para cámaras de aire horizontales.</p> <p>Para cámaras de aire muy ventiladas, la resistencia térmica total del cerramiento se obtiene despreciando la resistencia térmica de la cámara de aire y las de las demás capas entre la cámara de aire y el ambiente exterior, e incluyendo una resistencia superficial exterior correspondiente al aire en calma, igual a la resistencia superficial interior del mismo elemento.</p>

e (cm)	Sin ventilar	
	horizontal	vertical
1	0,15	0,15
2	0,16	0,17
5	0,16	0,18

Imagen 3.3 (CTE DA-DB HE/1): **Tabla 2. Resistencias térmicas de cámaras de aire [m² K/W].**

La transmitancia térmica de un cerramiento viene definida por:

$$U = \frac{1}{R_T} \quad (W/m^2K)$$

R_T es la resistencia térmica total del componente constructivo (m²K/W).

3.2.2 Cerramientos en contacto con el terreno

3.2.2.1 Suelos en contacto con el terreno

Caso 1:

Soleras o losas apoyadas sobre el nivel del terreno o como máximo 0,50 m por debajo.

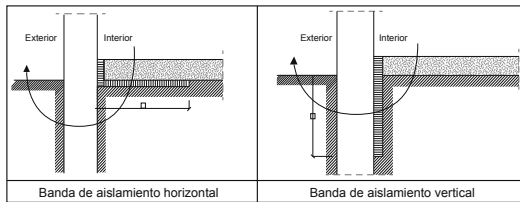


Imagen 3.4 (CTE DA-DB HE/1).

Caso 2:

Soleras o losas a una profundidad superior a 0,50 m respecto a nivel del terreno.

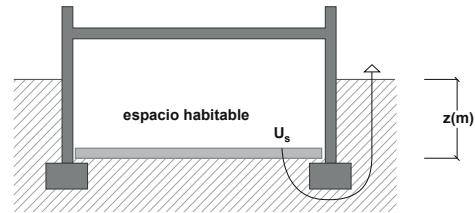


Imagen 3.5 (CTE DA-DB HE/1).

Caso 1:

La transmitancia térmica U_s [W/m² K] se obtiene de la tabla 3 (Imagen 3.6) en función del ancho D de la banda de aislamiento perimétrico, de la resistencia térmica del aislante R_a calculada mediante la expresión $R = e/\lambda$ y de la longitud característica B' de la solera o losa.

Los valores intermedios se pueden obtener por interpolación lineal.

Se define la longitud característica B' como el cociente entre la superficie del suelo y la longitud de su semiperímetro expuesto, según la expresión:

$$B' = \frac{A}{\frac{1}{2}P}$$

- A: el área de la solera [m²];
- P: la longitud del perímetro expuesto de la solera [m].

Para soleras o losas sin aislamiento térmico, la transmitancia térmica U_s se toma de la columna $R_a = 0$ m² K/W en función de su longitud característica B' .

Para soleras o losas con aislamiento continuo en toda su superficie se toman los valores de la columna $D \geq 1,5$ m de la tabla 3 (Imagen 3.6).

La transmitancia térmica del primer metro de losa o solera se obtiene de la fila $B' = 1$.

B'	R _a	D = 0.5 m					D = 1.0 m					D ≥ 1.5 m				
		R _a [m ² -K/W]					R _a [m ² -K/W]					R _a [m ² -K/W]				
		0,00	0,50	1,00	1,50	2,00	2,50	0,50	1,00	1,50	2,00	2,50	0,50	1,00	1,50	2,00
1	2,35	1,57	1,30	1,16	1,07	1,01	1,39	1,01	0,80	0,66	0,57	-	-	-	-	-
2	1,56	1,17	1,04	0,97	0,92	0,89	1,08	0,89	0,79	0,72	0,67	1,04	0,83	0,70	0,61	0,55
3	1,20	0,94	0,85	0,80	0,78	0,76	0,88	0,76	0,69	0,64	0,61	0,85	0,71	0,63	0,57	0,53
4	0,99	0,79	0,73	0,69	0,67	0,65	0,75	0,65	0,60	0,57	0,54	0,73	0,62	0,56	0,51	0,48
5	0,85	0,69	0,64	0,61	0,59	0,58	0,65	0,58	0,54	0,51	0,49	0,64	0,55	0,50	0,47	0,44
6	0,74	0,61	0,57	0,54	0,53	0,52	0,58	0,52	0,48	0,46	0,44	0,57	0,50	0,45	0,43	0,41
7	0,66	0,55	0,51	0,49	0,48	0,47	0,53	0,47	0,44	0,42	0,41	0,51	0,45	0,42	0,39	0,37
8	0,60	0,50	0,47	0,45	0,44	0,43	0,48	0,43	0,41	0,39	0,38	0,47	0,42	0,38	0,36	0,35
9	0,55	0,46	0,43	0,42	0,41	0,40	0,44	0,40	0,38	0,36	0,35	0,43	0,39	0,36	0,34	0,33
10	0,51	0,43	0,40	0,39	0,38	0,37	0,41	0,37	0,35	0,34	0,33	0,40	0,36	0,34	0,32	0,31
12	0,44	0,38	0,36	0,34	0,34	0,33	0,36	0,33	0,31	0,30	0,29	0,36	0,32	0,30	0,28	0,27
14	0,39	0,34	0,32	0,31	0,30	0,30	0,32	0,30	0,28	0,27	0,27	0,32	0,29	0,27	0,26	0,25
16	0,35	0,31	0,29	0,28	0,27	0,27	0,29	0,27	0,26	0,25	0,24	0,29	0,26	0,25	0,24	0,23
18	0,32	0,28	0,27	0,26	0,25	0,25	0,27	0,25	0,24	0,23	0,22	0,27	0,24	0,23	0,22	0,21
≥20	0,30	0,26	0,25	0,24	0,23	0,23	0,25	0,23	0,22	0,21	0,21	0,25	0,22	0,21	0,20	0,20

Imagen 3.6 (CTE DA-DB HE/1): Tabla 3. Transmitancia térmica Us [W/m²-K].

Caso 2:

La transmitancia térmica Us [W/m² K] se obtiene de la tabla 4 (Imagen 3.7) en función de la profundidad z de la solera o losa respecto el nivel del terreno, de la resistencia térmica R_f de la solera, despreciando las resistencias térmicas superficiales y la longitud característica B' calculada mediante la expresión anterior de longitud característica.

Los valores intermedios se pueden obtener por interpolación lineal.

B'	0,5 m < z ≤ 1,0 m				1,0 m < z ≤ 2,0 m				2,0 m < z ≤ 3,0 m				z ≥ 3,0 m			
	R _f [m ² -K/W]				R _f [m ² -K/W]				R _f [m ² -K/W]				R _f [m ² -K/W]			
	0,00	0,50	1,00	1,50	0,00	0,50	1,00	1,50	0,00	0,50	1,00	1,50	0,00	0,50	1,00	1,50
1	1,51	1,07	0,84	0,69	1,14	0,88	0,72	0,61	0,78	0,65	0,56	0,49	0,59	0,51	0,46	0,41
2	1,09	0,82	0,67	0,57	0,87	0,70	0,59	0,51	0,63	0,54	0,47	0,42	0,50	0,44	0,40	0,36
3	0,87	0,68	0,57	0,49	0,71	0,59	0,50	0,44	0,53	0,47	0,41	0,37	0,43	0,39	0,35	0,32
4	0,74	0,59	0,49	0,43	0,61	0,51	0,44	0,39	0,47	0,41	0,37	0,34	0,39	0,35	0,32	0,29
5	0,64	0,52	0,44	0,39	0,54	0,45	0,40	0,36	0,42	0,37	0,34	0,31	0,35	0,32	0,29	0,27
6	0,57	0,46	0,40	0,35	0,48	0,41	0,36	0,33	0,38	0,34	0,31	0,28	0,32	0,29	0,27	0,25
7	0,52	0,42	0,37	0,33	0,44	0,38	0,33	0,30	0,35	0,31	0,29	0,26	0,30	0,27	0,25	0,24
8	0,47	0,39	0,34	0,30	0,40	0,35	0,31	0,28	0,33	0,29	0,27	0,25	0,28	0,26	0,24	0,22
9	0,43	0,36	0,32	0,28	0,37	0,32	0,29	0,26	0,30	0,27	0,25	0,23	0,26	0,24	0,22	0,21
10	0,40	0,34	0,30	0,27	0,35	0,30	0,27	0,25	0,29	0,26	0,24	0,22	0,25	0,23	0,21	0,20
12	0,36	0,30	0,27	0,24	0,31	0,27	0,24	0,22	0,26	0,23	0,21	0,20	0,22	0,21	0,19	0,18
14	0,32	0,27	0,24	0,22	0,28	0,25	0,22	0,20	0,23	0,21	0,20	0,18	0,20	0,19	0,18	0,17
16	0,29	0,25	0,22	0,20	0,25	0,23	0,20	0,19	0,21	0,20	0,18	0,17	0,19	0,17	0,16	0,16
18	0,26	0,23	0,20	0,19	0,23	0,21	0,19	0,18	0,20	0,18	0,17	0,16	0,17	0,16	0,15	0,15
≥20	0,24	0,21	0,19	0,17	0,22	0,19	0,18	0,16	0,18	0,17	0,16	0,15	0,16	0,15	0,14	0,14

Imagen 3.7 (CTE DA-DB HE/1): Tabla 4. Transmitancia térmica Us [W/m²-K].

3.2.2.2 Muros en contacto con el terreno

La transmitancia térmica U_T [$W/m^2 K$] de los muros o pantallas en contacto con el terreno se obtiene de la tabla 5 (Imagen 3.9) en función de su profundidad z y de la resistencia térmica del muro R_m despreciando las resistencias térmicas superficiales.

Los valores intermedios se pueden obtener por interpolación lineal.

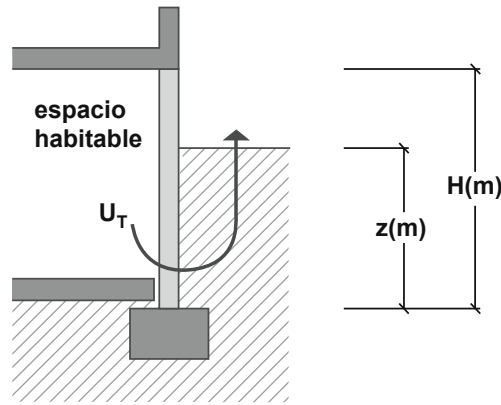


Imagen 3.8 (CTE DA-DB HE/1): Figura 3. Muro en contacto con el terreno.

R_m [$m^2 \cdot K/W$]	Profundidad z de la parte enterrada del muro [m]					
	0,5	1	2	3	4	≥ 6
0,00	3,05	2,20	1,48	1,15	0,95	0,71
0,10	2,29	1,74	1,22	0,97	0,81	0,62
0,20	1,84	1,45	1,06	0,85	0,72	0,56
0,30	1,55	1,25	0,93	0,76	0,65	0,51
0,40	1,33	1,10	0,84	0,69	0,60	0,47
0,50	1,17	0,99	0,77	0,64	0,55	0,44
0,60	1,05	0,90	0,71	0,59	0,52	0,42
0,70	0,95	0,82	0,66	0,56	0,49	0,39
0,80	0,87	0,76	0,61	0,52	0,46	0,38
0,90	0,80	0,70	0,58	0,49	0,44	0,36
1,00	0,74	0,65	0,54	0,47	0,42	0,34
1,10	0,69	0,61	0,51	0,45	0,40	0,33
1,20	0,64	0,58	0,49	0,42	0,38	0,32
1,30	0,60	0,55	0,46	0,41	0,36	0,30
1,40	0,57	0,52	0,44	0,39	0,35	0,29
1,50	0,54	0,49	0,42	0,37	0,34	0,28
1,60	0,51	0,47	0,40	0,36	0,32	0,28
1,70	0,49	0,45	0,39	0,35	0,31	0,27
1,80	0,46	0,43	0,37	0,33	0,30	0,26
1,90	0,44	0,41	0,36	0,32	0,29	0,25
2,00	0,42	0,39	0,35	0,31	0,28	0,24

Imagen 3.9 (CTE DA-DB HE/1): Tabla 5. Transmitancia térmica de muros enterrados U_T [$W/m^2 \cdot K$].

En el caso de muros cuya composición varíe con la profundidad, como muestra la imagen 3.10, la transmitancia térmica U_T se obtiene de la expresión:

$$U_T = \frac{U_1 \cdot z_1 + U_2 \cdot z_2 - U_{12} \cdot z_1}{z_2}$$

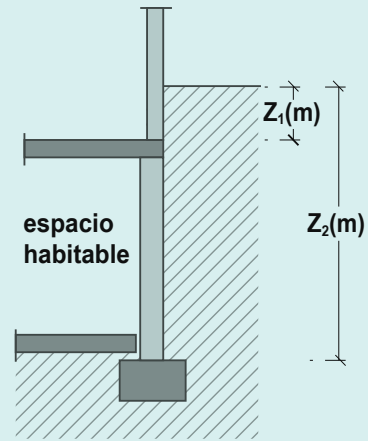


Imagen 3.10 (CTE DA-DB HE/1): Figura 4. Muro enterrado.

- z_1 y z_2 : la profundidad del primer y el segundo tramo respectivamente [m];
- U_1 : la transmitancia térmica del primer tramo del muro, obtenida de la tabla 5 para una profundidad $z = z_1$ y una resistencia térmica $R_m = R_1$ [W/m² K];
- U_2 : la transmitancia térmica obtenida de la tabla 5 de un muro hipotético de profundidad $z = z_2$ y resistencia térmica $R_m = R_2$ [W/m² K];
- U_{12} : la transmitancia térmica obtenida de la tabla 5 de un muro hipotético de profundidad $z = z_1$ y resistencia térmica $R_m = R_2$ [W/m² K].

3.2.2.3 Cubiertas enterradas

La transmitancia térmica U_T [W/m² K] de las cubiertas enterradas se obtiene mediante el procedimiento descrito «Cerramientos en contacto con el aire exterior», considerando el terreno como otra capa térmicamente homogénea de conductividad $\lambda = 2$ W/mK.

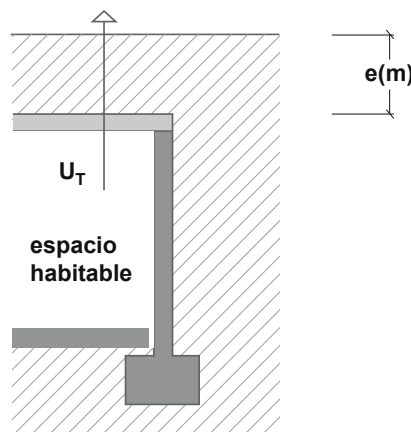


Imagen 3.11 (CTE DA-DB HE/1): Figura 5. Cubierta enterrada.

3.2.3 Particiones interiores en contacto con espacios no habitables

Para el cálculo de la transmitancia U [$W/m^2 K$] se consideran en este apartado el caso de cualquier partición interior en contacto con un espacio no habitable que a su vez esté en contacto con el exterior.

3.2.3.1 Particiones interiores (excepto suelos en contacto con cámaras sanitarias)

La transmitancia térmica U [$W/m^2 K$] viene dada por la siguiente expresión:

$$U = U_p \cdot b$$

- U_p : la transmitancia térmica de la partición interior en contacto con el espacio no habitable, calculada según «Cerramientos en contacto con el aire exterior», tomando como resistencias superficiales los valores de la tabla 6 (Imagen 3.12) [$m^2 K/ W$];
- B : el coeficiente de reducción de temperatura (relacionado al espacio no habitable) obtenido por la tabla 7 (Imagen 3.13) para los casos concretos que se citan o mediante el procedimiento descrito.

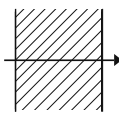
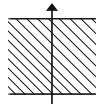
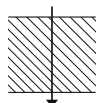
Posición de la partición interior y sentido del flujo de calor		R_{se}	R_{si}
Particiones interiores verticales con pendiente sobre la horizontal $> 60^\circ$ y flujo horizontal.		0,13	0,13
Particiones interiores horizontales o con pendiente sobre la horizontal $\leq 60^\circ$ y flujo ascendente (Techo)		0,10	0,10
Posiciones interiores horizontales y flujo descendente (Suelo).		0,17	0,17

Imagen 3.12 (CTE DA-DB HE/1): Tabla 6. Resistencias térmicas superficiales de particiones interiores [m^2K/W].

A_{h-nh}/A_{nh-e}	No aislado _{nh-e} - Aislado _{h-nh}		No aislado _{nh-e} -No aislado _{h-nh}		Aislado _{nh-e} -No aislado _{h-nh}	
	CASO 1	CASO 2	CASO 1	CASO 2	CASO 1	CASO 2
<0,25	0,99	1,00	0,94	0,97	0,91	0,96
0,25 ≤0,50	0,97	0,99	0,85	0,92	0,77	0,90
0,50 ≤0,75	0,96	0,98	0,77	0,87	0,67	0,84
0,75 ≤1,00	0,94	0,97	0,70	0,83	0,59	0,79
1,00 ≤1,25	0,92	0,96	0,65	0,79	0,53	0,74
1,25 ≤2,00	0,89	0,95	0,56	0,73	0,44	0,67
2,00 ≤2,50	0,86	0,93	0,48	0,66	0,36	0,59
2,50 ≤3,00	0,83	0,91	0,43	0,61	0,32	0,54
>3,00	0,81	0,90	0,39	0,57	0,28	0,50

Imagen 3.13 (CTE DA-DB HE/1): Tabla 7. Coeficiente de reducción de temperatura b .

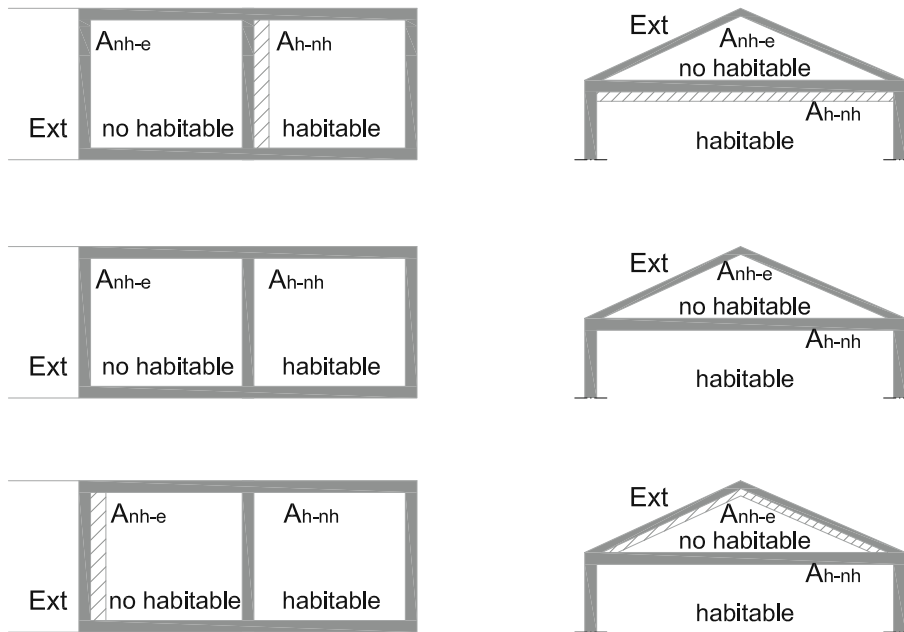


Imagen 3.14 (CTE DA-DB HE/1): Figura 6. Espacios habitables en contacto con espacios no habitables.

El coeficiente de reducción de temperatura b para espacios adyacentes no habitables (trasteros, despensas, garajes adyacentes, etc.) y espacios no acondicionados bajo cubierta inclinada se puede obtener de la tabla 7 (Imagen 3.13) en función de la situación del aislamiento térmico (Imagen 3.14), del grado de ventilación del espacio y de la relación de áreas entre la partición interior y el cerramiento (A_{h-nh} / A_{nh-e}), donde el subíndice nh-e se refiere al cerramiento entre el espacio no habitable y el exterior; el subíndice h-nh se refiere a la partición interior entre el espacio habitable y el espacio no habitable (véase figura 6, imagen 3.14).

Los valores intermedios se pueden obtener por interpolación lineal.

Se distinguen dos grados de ventilación en función del nivel de estanqueidad del espacio definido en la tabla 8 (Imagen 3.15):

- CASO 1 Espacio ligeramente ventilado, que comprende aquellos espacios con un nivel estanqueidad de 1, 2 o 3.
- CASO 2 Espacio muy ventilado, que comprende aquellos espacios con un nivel de estanqueidad 4 o 5.

Nivel de estanqueidad	h^{-1}
1. Ni puertas, ni ventanas, ni aberturas de ventilación	0
2. Todos los componentes sellados, sin aberturas de ventilación	0,5
3. Todos los componentes bien sellados, pequeñas aberturas de ventilación	1
4. Poco estanco, a causa de juntas abiertas o presencia de aberturas de ventilación permanentes	5
5. Poco estanco, con numerosas juntas abiertas o aberturas de ventilación permanentes grandes o numerosas	10

Imagen 3.15 (CTE DA-DB HE/1): Tabla 8. Tasa de renovación de aire entre espacios no habitables y el exterior (h^{-1}).

3.2.3.2 Suelos en contacto con cámaras sanitarias

Apartado aplicable para cámaras de aire ventiladas por el exterior que cumplan simultáneamente las siguientes condiciones:

- a) Que tengan una altura *h* inferior o igual a 1 m.
- b) Que tengan una profundidad *z* respecto al nivel del terreno inferior o igual a 0,5 m.

En caso de no cumplirse la condición a), pero sí la b), la transmitancia del cerramiento en contacto con la cámara se puede calcular mediante el procedimiento «Cerramientos en contacto con el aire exterior».

En caso de no cumplirse la condición b), la transmitancia del cerramiento se puede calcular mediante la definición general del coeficiente *b*, procedimiento «Particiones interiores».

La transmitancia térmica del suelo sanitario *U_s* viene dada por la tabla 9 (Imagen 3.17), en función de la longitud característica *B'* del suelo en contacto con la cámara y su resistencia térmica *R_f* calculada mediante la expresión: $R_f = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se}$, despreciando las resistencias térmicas superficiales. Los valores intermedios se pueden obtener por interpolación lineal.

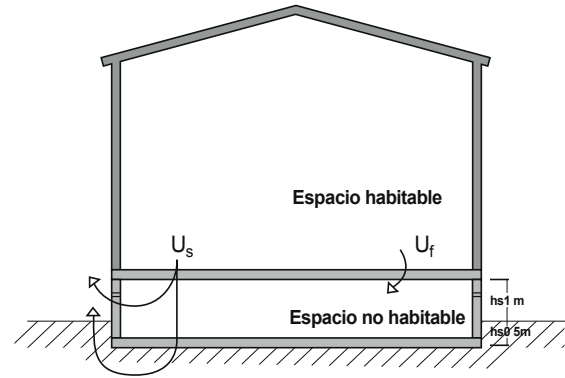


Imagen 3.16 (CTE DA-DB HE/1): Figura 7. Cámaras sanitarias.

<i>B'</i>	<i>R_f</i> [m²K/W]						
	0,0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
1	9,38	1,65	0,90	0,62	0,47	0,38	0,29
2	5,35	1,46	0,84	0,59	0,46	0,37	0,28
3	3,88	1,32	0,80	0,57	0,44	0,36	0,28
4	3,11	1,22	0,76	0,55	0,43	0,35	0,27
5	2,63	1,14	0,72	0,53	0,42	0,35	0,27
6	2,30	1,07	0,70	0,52	0,41	0,34	0,27
7	2,06	1,01	0,67	0,50	0,40	0,33	0,26
8	1,87	0,97	0,65	0,49	0,39	0,33	0,26
9	1,73	0,93	0,63	0,48	0,39	0,32	0,26
10	1,61	0,89	0,62	0,47	0,38	0,32	0,26
12	1,43	0,83	0,59	0,45	0,37	0,31	0,25
14	1,30	0,79	0,57	0,44	0,36	0,31	0,25
16	1,20	0,75	0,55	0,43	0,35	0,30	0,25
18	1,12	0,72	0,53	0,42	0,35	0,29	0,25
20	1,06	0,69	0,51	0,41	0,34	0,29	0,25
22	1,00	0,67	0,50	0,40	0,33	0,29	0,25
24	0,96	0,65	0,49	0,39	0,33	0,28	0,24
26	0,92	0,63	0,48	0,39	0,32	0,28	0,24
28	0,89	0,61	0,47	0,38	0,32	0,28	0,24
30	0,86	0,60	0,46	0,38	0,32	0,27	0,24
32	0,83	0,59	0,45	0,37	0,31	0,27	0,23
34	0,81	0,58	0,45	0,37	0,31	0,27	0,23
≥36	0,79	0,57	0,44	0,36	0,31	0,27	0,23

Imagen 3.17 (CTE DA-DB HE/1): Tabla 9. Transmitancia térmica *U_s* [W/m²·K].

3.2.4 Huecos y lucernarios. Transmisión térmica de huecos

Para el cálculo de la transmitancia térmica de huecos (ventana, lucernario o puerta) U_H [W/m² K] se empleará la norma UNE EN ISO 10077.

$$U_H = \frac{A_{H,v}U_{H,v} + A_{H,m}U_{H,m} + l_v\psi_v + A_{H,p}U_{H,p} + l_p\psi_p}{A_{H,v} + A_{H,m} + A_{H,p}}$$

- U_H : la transmitancia térmica del hueco (ventana, lucernario o puerta) [W/m² K];
- $U_{H,v}$: la transmitancia térmica del acristalamiento [W/m² K];
- $U_{H,m}$: la transmitancia térmica del marco [W/m² K];
- $U_{H,p}$: la transmitancia térmica de la zona con panel opaco o cajón de persiana [W/m² K];
- ψ_v : la transmitancia térmica lineal debida al acoplamiento entre marco y acristalamiento [W/mK];
- ψ_p : la transmitancia térmica lineal debida al acoplamiento entre marco y paneles opacos o cajón de persiana [W/mK];
- $A_{H,v}$: el área de la parte acristalada [m²];
- $A_{H,m}$: el área del marco [m²];
- $A_{H,p}$: el área de la parte con panel opaco o cajón de persiana [m²];
- l_v : la longitud de contacto entre marco y acristalamiento [m];
- l_p : la longitud de contacto entre marco y paneles opacos o cajón de persiana [m].

Los valores de las transmitancias térmicas lineales se pueden calcular o tomar de la siguiente tabla (Imagen 3.18):

Material del marco	Acristalamiento o empanelado simple	Acristalamiento o empanelado doble o triple	Acristalamiento doble con baja emisividad o triple con dos capas de baja emisividad
Madera y plástico	0,00	0,06 / 0,05	0,08 / 0,06
Metálico con rotura de puente térmico	0,00	0,08 / 0,06	0,11 / 0,08
Metálico sin rotura de puente térmico	0,00	0,02 / 0,01	0,05 / 0,04

* Valores para elementos separadores convencionales y para elementos de prestaciones térmicas mejoradas.

Imagen 3.18 (CTE DA-DB HE/1): Tabla 10. Transmitancia térmica lineal ψ_p y ψ_v en huecos*.

En el caso de paneles opacos o cajones de persiana con juntas más aislantes que el propio panel o cajón de persiana, se puede tomar $\psi_p = 0$.

3.2.5 Transmitancia de la energía solar de elementos semitransparentes

3.2.5.1 Transmitancia total de energía solar del hueco.

La siguiente tabla (Imagen 3.19) muestra valores representativos de la transmitancia total de energía solar de diversos tipos de acristalamiento ($g_{gl;wi}$).

Los valores de la transmitancia total de energía solar del acristalamiento (sin dispositivo de sombra activo), $g_{gl;wi}$, se han obtenido a partir del valor de la transmitancia total de energía solar a incidencia normal, $g_{gl;n}$ y un factor de corrección por dispersión del vidrio, $F_w = 0,90$. ($g_{gl;wi} = F_w g_{gl;n}$).

Tipo	$g_{gl;n}$	$g_{gl;wi}$
Vidrio sencillo	0,85	0,77
Vidrio doble	0,75	0,68
Vidrio doble bajo emisivo	0,67	0,60
Vidrio triple bajo emisivo	0,50	0,45
Doble ventana	0,75	0,68

Imagen 3.19 (CTE DA-DB HE/1): Tabla 11. Transmitancia total de energía solar para diferentes tipos de vidrio.

3.2.5.2 Transmitancia total de energía solar del hueco con un dispositivo de sombra móvil

La siguiente tabla (Imagen 3.20) incluye la transmitancia total de energía solar de diversos acristalamientos tipo y diversos tipos de dispositivos de sombra móvil ($g_{gl;sh,wi}$).

Factor de transmitancia solar del dispositivo de protección solar		Protección exterior				Protección interior			
		Factor de reflexión ($\rho_{e,B}$)				Factor de reflexión ($\rho_{e,B}$)			
$T_{e,B}$	Tipo de vidrio	blanco	pastel	oscuro	negro	blanco	pastel	oscuro	negro
0 (p.ej: persianas)	Vidrio sencillo	0,06	0,11	0,15	0,19	0,34	0,43	0,54	0,66
	Vidrio doble	0,05	0,08	0,11	0,14	0,34	0,43	0,53	0,63
	Vidrio doble bajo emisivo	0,03	0,05	0,08	0,10	0,34	0,42	0,51	0,59
	Vidrio triple bajo emisivo	0,03	0,05	0,06	0,08	0,30	0,34	0,38	0,41
0,2 (p.ej: toldos)	Vidrio sencillo	0,22	0,27	0,31	0,33	0,39	0,51	0,62	0,68
	Vidrio doble	0,20	0,23	0,26	0,28	0,39	0,50	0,60	0,65
	Vidrio doble bajo emisivo	0,17	0,20	0,22	0,23	0,39	0,48	0,56	0,61
	Vidrio triple bajo emisivo	0,13	0,15	0,16	0,17	0,32	0,36	0,40	0,42
0,4 (p.ej: cortinas)	Vidrio sencillo	0,41	0,43	0,45	0,47	0,53	0,59	0,65	0,71
	Vidrio doble	0,36	0,38	0,39	0,41	0,51	0,56	0,61	0,66
	Vidrio doble bajo emisivo	0,33	0,34	0,35	0,36	0,49	0,53	0,58	0,62
	Vidrio triple bajo emisivo	0,24	0,25	0,26	0,27	0,37	0,38	0,40	0,42

Imagen 3.20 (CTE DA-DB HE/1): Tabla 12. Transmitancia total de energía solar de huecos para distintos dispositivos de sombra móvil ($g_{gl;sh,wi}$).

Como rango orientativo de la eficacia de la protección solar utilizada se puede tomar la clasificación térmica de eficacia de protección solar que establece la UNE-EN 14501 en función del valor de $g_{gl;sh,wi}$ tal y como se muestra en la tabla 13 (Imagen 3.21):

Clase (UNE-EN 14501)	0	1	2	3	4
Eficacia	Efecto mínimo	Efecto pequeño	Efecto moderado	Eficiente	Muy eficiente
$g_{gl;sh,wi}$	$g_{gl;sh,wi} > 0,5$	$0,35 < g_{gl;sh,wi} < 0,5$	$0,15 < g_{gl;sh,wi} < 0,35$	$0,10 < g_{gl;sh,wi} < 0,15$	$g_{gl;sh,wi} < 0,10$

Imagen 3.21 (CTE DA-DB HE/1): Tabla 13. Eficacia de la protección solar en función del $g_{gl;sh,wi}$.

3.2.5.3 Transmitancia total media mensual de energía solar de huecos con dispositivo de sombra móvil

Para el uso en el cálculo de necesidades energéticas, la siguiente expresión proporciona el valor de la transmitancia total media mensual de energía solar del acristalamiento incluyendo el efecto del dispositivo de sombra móvil ($g_{gl;wi;m}$):

$$g_{gl;wi;m} = (1 - f_{sh;with})g_{gl;wi} + f_{sh;with} \cdot g_{gl;sh,wi}$$

- $f_{sh;with}$: es la fracción de tiempo con el dispositivo de sombra móvil activado, o factor reductor para sombreadamientos solares móviles; (Ver tabla 15.a del DA-DB HE/1);
- $g_{gl;wi}$: es la transmitancia total de energía solar del acristalamiento sin el dispositivo de sombra móvil activado;
- $g_{gl;sh,wi}$: es la transmitancia total de energía solar del acristalamiento con el dispositivo de sombra móvil activado.

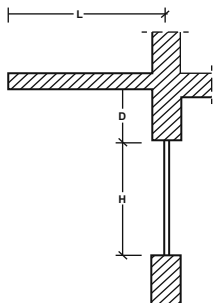
ZC	Orientación	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
A3	E	0,60	0,64	0,63	0,65	0,67	0,70	0,71	0,71	0,67	0,69	0,57	0,59
	S	0,95	0,90	0,83	0,76	0,66	0,54	0,61	0,74	0,84	0,89	0,92	0,94
	O	0,59	0,64	0,65	0,66	0,71	0,69	0,70	0,71	0,67	0,66	0,59	0,56
	N	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
A4	E	0,60	0,64	0,63	0,65	0,67	0,70	0,73	0,74	0,69	0,66	0,60	0,57
	S	0,95	0,90	0,83	0,76	0,66	0,52	0,69	0,77	0,86	0,90	0,93	0,94
	O	0,59	0,64	0,65	0,66	0,71	0,70	0,75	0,73	0,67	0,66	0,61	0,59
	N	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
B3	E	0,53	0,62	0,61	0,66	0,67	0,68	0,71	0,72	0,66	0,64	0,55	0,47
	S	0,92	0,88	0,81	0,73	0,66	0,52	0,65	0,74	0,83	0,88	0,92	0,91
	O	0,54	0,61	0,61	0,64	0,69	0,68	0,69	0,68	0,68	0,62	0,56	0,52
	N	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
B4	E	0,53	0,62	0,61	0,66	0,67	0,71	0,75	0,73	0,69	0,62	0,57	0,47
	S	0,92	0,88	0,81	0,73	0,66	0,54	0,68	0,78	0,86	0,85	0,90	0,92
	O	0,54	0,61	0,61	0,64	0,69	0,69	0,72	0,73	0,69	0,64	0,56	0,49
	N	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
C1	E	0,45	0,47	0,54	0,61	0,63	0,61	0,67	0,67	0,60	0,54	0,47	0,38
	S	0,82	0,80	0,73	0,63	0,50	0,44	0,54	0,67	0,75	0,83	0,84	0,81
	O	0,48	0,50	0,54	0,57	0,53	0,61	0,62	0,64	0,55	0,56	0,51	0,37
	N	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
C2	E	0,45	0,47	0,54	0,61	0,63	0,69	0,72	0,69	0,64	0,57	0,52	0,34
	S	0,82	0,80	0,73	0,63	0,50	0,53	0,60	0,75	0,82	0,78	0,82	0,78
	O	0,48	0,50	0,54	0,57	0,53	0,64	0,67	0,69	0,65	0,51	0,46	0,38
	N	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
C3	E	0,45	0,47	0,54	0,61	0,63	0,69	0,73	0,72	0,69	0,59	0,48	0,37
	S	0,82	0,80	0,73	0,63	0,50	0,53	0,64	0,75	0,85	0,81	0,79	0,81
	O	0,48	0,50	0,54	0,57	0,53	0,65	0,70	0,69	0,67	0,52	0,37	0,34
	N	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
C4	E	0,45	0,47	0,54	0,61	0,63	0,71	0,75	0,74	0,70	0,51	0,42	0,40
	S	0,82	0,80	0,73	0,63	0,50	0,55	0,68	0,79	0,86	0,82	0,83	0,81
	O	0,48	0,50	0,54	0,57	0,53	0,71	0,73	0,73	0,67	0,56	0,45	0,40
	N	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
D1	E	0,37	0,58	0,60	0,59	0,66	0,61	0,67	0,65	0,61	0,60	0,50	0,38
	S	0,80	0,81	0,79	0,70	0,53	0,47	0,58	0,69	0,76	0,84	0,81	0,84
	O	0,43	0,54	0,59	0,62	0,61	0,59	0,64	0,65	0,57	0,58	0,41	0,41
	N	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
D2	E	0,37	0,58	0,60	0,59	0,66	0,66	0,72	0,70	0,62	0,59	0,49	0,35
	S	0,80	0,81	0,79	0,70	0,53	0,52	0,61	0,74	0,81	0,83	0,82	0,82
	O	0,43	0,54	0,59	0,62	0,61	0,67	0,70	0,67	0,64	0,58	0,45	0,35
	N	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
D3	E	0,37	0,58	0,60	0,59	0,66	0,67	0,71	0,70	0,67	0,55	0,44	0,4
	S	0,80	0,81	0,79	0,70	0,53	0,53	0,63	0,75	0,83	0,83	0,84	0,77
	O	0,43	0,54	0,59	0,62	0,61	0,67	0,73	0,71	0,67	0,64	0,45	0,35
	N	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
E1	E	0,48	0,47	0,54	0,61	0,61	0,60	0,65	0,67	0,58	0,55	0,48	0,49
	S	0,80	0,78	0,78	0,67	0,57	0,46	0,56	0,69	0,74	0,81	0,81	0,84
	O	0,47	0,52	0,61	0,59	0,63	0,64	0,60	0,63	0,56	0,58	0,46	0,38
	N	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Imagen 3.22 (CTE DA-DB HE/1): Tabla 15 a. Fracción de tiempo de activación de los dispositivos solares móviles por meses y orientaciones, para climas peninsulares, de las Islas Baleares, Ceuta y Melilla ($f_{sh,with}$).

3.2.5.4 Factor de sombra por obstáculos remotos

El factor de sombra del hueco o lucernario por obstáculos externos al hueco (voladizos, aletas laterales, retranqueos, obstáculos remotos, etc.) se puede obtener de las tablas de la 16 a la 19 (Imágenes de la 3.23 a la 3.26). En caso de que no se justifique adecuadamente, el valor de $F_{sh,obst}$ se debe considerar igual a la unidad.

La consideración del factor de sombra que corresponda a la vegetación podrá ser tenida en cuenta o no por el proyectista, siendo necesaria una evaluación diferenciada en función de la geometría del elemento y su follaje (hoja perenne o caduca).

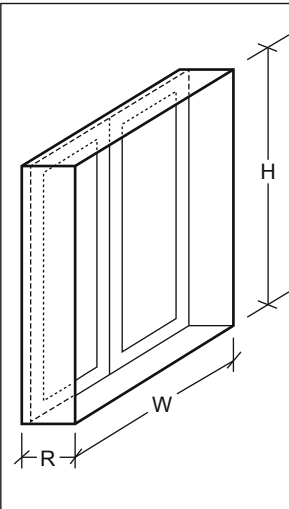


ORIENTACIONES DE FACHADAS			$0,2 < L/H \leq 0,5$	$0,5 < L/H \leq 1$	$1 < L/H \leq 2$	$L/H > 2$
		S	$0 < D/H \leq 0,2$	0,82	0,50	0,28
$0,2 < D/H \leq 0,5$	0,87		0,64	0,39	0,22	
$D/H > 0,5$	0,93		0,82	0,60	0,39	
SE/SO	$0 < D/H \leq 0,2$	0,90	0,71	0,43	0,16	
	$0,2 < D/H \leq 0,5$	0,94	0,82	0,60	0,27	
	$D/H > 0,5$	0,98	0,93	0,84	0,65	
E/O	$0 < D/H \leq 0,2$	0,92	0,77	0,55	0,22	
	$0,2 < D/H \leq 0,5$	0,96	0,86	0,70	0,43	
	$D/H > 0,5$	0,99	0,96	0,89	0,75	

NOTA: En caso de que exista un retranqueo, la longitud L se medirá desde el centro del acristalamiento.

NOTA: En los huecos orientados a norte se puede considerar como valor simplificado 1.

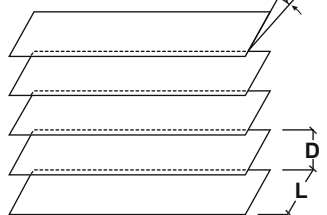
Imagen 3.23 (CTE DA-DB HE/1): Tabla 16. Factor de sombra para obstáculos de fachada ($F_{sh,obst}$): Voladizo.

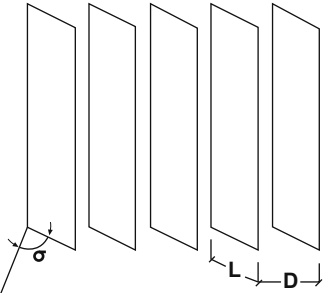


ORIENTACIONES DE FACHADAS			$0,05 < R/W \leq 0,1$	$0,1 < R/W \leq 0,2$	$0,2 < R/W \leq 0,5$	$R/W > 0,5$
		S	$0,05 < R/H \leq 0,1$	0,82	0,74	0,62
$0,1 < R/H \leq 0,2$	0,76		0,67	0,56	0,35	
$0,2 < R/H \leq 0,5$	0,56		0,51	0,39	0,27	
$R/H > 0,5$	0,35		0,32	0,27	0,17	
SE/SO	$0,05 < R/H \leq 0,1$	0,86	0,81	0,72	0,51	
	$0,1 < R/H \leq 0,2$	0,79	0,74	0,66	0,47	
	$0,2 < R/H \leq 0,5$	0,59	0,56	0,47	0,36	
	$R/H > 0,5$	0,38	0,36	0,32	0,23	
E/O	$0,05 < R/H \leq 0,1$	0,91	0,87	0,81	0,65	
	$0,1 < R/H \leq 0,2$	0,86	0,82	0,76	0,61	
	$0,2 < R/H \leq 0,5$	0,71	0,68	0,61	0,51	
	$R/H > 0,5$	0,53	0,51	0,48	0,39	

NOTA: En los huecos orientados a norte se puede considerar como valor simplificado 1.

Imagen 3.24 (CTE DA-DB HE/1): Tabla 17. Factor de sombra para obstáculos de fachada ($F_{sh,obst}$): Retranqueo.

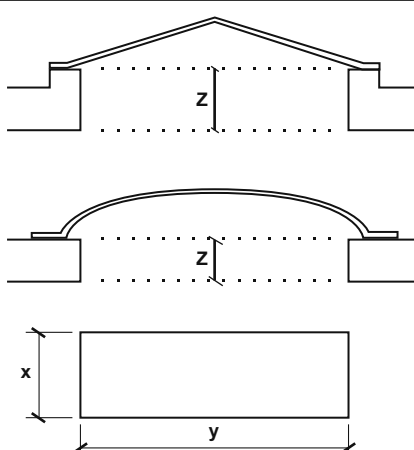
LAMAS HORIZONTALES		ORIENTACIÓN	ÁNGULO DE INCLINACIÓN (β)		
			0	30	60
		SUR	0,49	0,42	0,26
		SURESTE/ SUROESTE	0,54	0,44	0,26
		ESTE/ OESTE	0,57	0,45	0,27

LAMAS VERTICALES		ORIENTACIÓN	ÁNGULO DE INCLINACIÓN (σ)						
			-60	-45	-30	0	30	45	60
		SUR	0,37	0,44	0,49	0,53	0,47	0,41	0,32
		SURESTE	0,46	0,53	0,56	0,56	0,47	0,40	0,30
		ESTE	0,39	0,47	0,54	0,63	0,55	0,45	0,32
		OESTE	0,44	0,52	0,58	0,63	0,50	0,41	0,29
		SUROESTE	0,38	0,44	0,50	0,56	0,53	0,48	0,38

NOTA: Los valores de factor de sombra que se indican en estas tablas han sido calculados para una relación D/L igual o inferior a 1. El ángulo σ debe ser medido desde la normal a la fachada hacia el plano de las lambras, considerándose positivo en dirección horaria.

NOTA: En los huecos orientados a norte se puede considerar como valor simplificado 1.

Imagen 3.25 (CTE DA-DB HE/1): Tabla 18. Factor de sombra para obstáculos de fachada ($F_{sh,obst}$): Lambras.

		X/Z	y/z					
			0,1	0,5	1,0	2,0	5,0	10,0
0,1	0,1	0,42	0,43	0,43	0,43	0,44	0,44	
	0,5	0,43	0,46	0,48	0,50	0,51	0,52	
	1,0	0,43	0,48	0,52	0,55	0,58	0,59	
	2,0	0,43	0,50	0,55	0,60	0,66	0,68	
	5,0	0,44	0,51	0,58	0,66	0,75	0,79	
	10,0	0,44	0,52	0,59	0,68	0,79	0,85	

NOTA: Los valores de factor de sombra que se indican en esta tabla son válidos para lucernarios sensiblemente horizontales. En caso de lucernarios de planta elíptica o circular podrán tomarse como dimensiones características equivalentes los ejes mayor y menor o el diámetro.

Imagen 3.26 (CTE DA-DB HE/1): Tabla 19. Factor de sombra para lucernarios ($F_{sh,obst}$).

3.2.5.5 Irradiación solar media acumulada en el mes de julio

Las siguientes tablas (Imagen 3.27) recogen los valores de irradiación solar media acumulada en el mes de julio ($H_{sol;jul}$), medida en kWh/m², en función de la orientación de la superficie y de la zona climática.

Climas peninsulares, de las islas Baleares, Ceuta y Melilla.

Z.C.	Horiz.	NE	E	SE	S	SO	O	NO	N
A3	220.36	96.73	127.81	117.82	89.53	115.84	124.7	94.3	59.39
A4	235.35	99.25	132.86	123.7	94.78	123.83	133.97	100.69	61.12
B3	220.33	92.03	121.85	114.45	89.73	114.64	122.02	92.07	57.92
B4	235.31	101.7	135.64	125.09	94.13	121.94	131.14	98.48	61
C1	195.77	88.49	114.47	106.12	81.72	101.55	108.06	84	56.85
C2	217.19	96.61	128.05	117.89	88.17	111.22	118.78	90.17	58.23
C3	220.34	97.05	128.62	118.69	89.37	115.69	125.22	95.24	59.61
C4	235.35	101.78	136.41	126.01	94.84	121.68	130.08	97.16	60.36
D1	195.8	88.53	114.54	106.15	81.96	101.33	107.19	82.96	56.51
D2	217.18	94.76	125.48	116.31	88.51	113.39	121.59	92.18	58.27
D3	220.32	94.22	124.81	116.03	89.15	115.91	125.24	94.95	58.91
E1	195.79	88.95	114.88	106.34	82.09	101.16	106.71	82.58	56.67

Climas de las islas Canarias.

Z.C.	Horiz.	NE	E	SE	S	SO	O	NO	N
A1	195.58	92.08	107.59	86.64	53.96	86.32	106.2	90.43	60.7
A2	216.93	100.05	119.62	95.52	56.26	91.6	113.03	94.66	61.64
A3	220.08	104.09	123.24	96.75	55.46	94.84	119.85	101.22	65.16
A4	235.08	106.01	127.09	100.74	58.43	102.22	129.54	108	66.24
α1	195.56	92.34	108.38	87.67	54.6	85.65	104.9	89.43	60.59
α2	216.93	99	117.97	94.19	56	94.88	119.03	99.82	62.89
α3	220.11	101.98	121.5	96.44	56.3	95.45	119.73	100.47	63.76
B1	195.57	94.7	111.24	89.32	54.32	86.49	107.33	92	62.03
B2	216.9	98.2	116.52	92.9	55.18	94.02	118.23	99.5	62.8
B3	220.11	103.16	122.46	96.54	55.97	95.26	120.03	101	64.72
B4	235.08	106.88	128.05	101.19	57.89	99.94	126.41	105.8	66.06
C1	195.57	91.62	107.19	86.49	54.19	88.17	109.31	92.94	61.18
C2	216.91	101.03	119.95	94.85	55.33	91.94	114.83	96.7	63.06
C3	220.1	100.28	119.36	95.02	56.22	96.18	120.49	100.72	63.15
C4	235.05	107.93	129.02	101.38	57.65	97.95	122.21	101.72	64.95
D1	195.59	89.55	105.74	86.9	55.6	85.63	103.96	88.3	59.36
D2	216.92	98.35	116.78	93.15	55.16	94.32	118.89	100.17	62.98
D3	220.1	102.24	121.33	95.77	55.79	94.87	118.9	99.71	63.79
E1	195.58	91.03	106.12	85.63	53.95	85.66	105.32	89.87	60.74

Imagen 3.27 (CTE DA-DB HE/1): Tabla 21 y 22 Irradiación solar media acumulada en el mes de julio ($H_{sol;jul}$) [kWh/m²].

3.3.- Estudio y análisis del riesgo de condensaciones superficiales e intersticiales

3.3.1 Condensaciones intersticiales

Las condensaciones intersticiales son condensaciones que se producen en el interior de la envolvente térmica, causando una merma significativa en las prestaciones térmicas, así como de la vida útil de los elementos que componen la envolvente térmica.

En caso de producirse condensación intersticial en la envolvente térmica, la máxima condensación acumulada en cada periodo anual no podrá superar la cantidad de evaporación posible en el mismo periodo.

Según el apartado 4.2.1 del DA DB – HE/2:

No es necesaria la comprobación en aquellos cerramientos en contacto con el terreno y en los cerramientos que dispongan de *barrera contra el vapor* de agua en la parte caliente del cerramiento. Para particiones interiores en contacto con espacios no habitables en los que se prevea gran producción de humedad, se debe colocar la *barrera contra el vapor* en el lado de dicho espacio no habitable.

Según el DA DB – HE/2 apéndice A, una barrera contra el vapor se define como: un elemento que tiene una resistencia a la difusión de vapor mayor que 10 MN·s/g equivalente a 2,7 m²·h·Pa/mg.

3.3.1.1 Cálculo de condensaciones intersticiales

Para comprobar que, en nuestra envolvente térmica, no se producen condensaciones intersticiales, se debe cumplir que la presión de saturación en cada una de las capas que forman la envolvente térmica es mayor que la presión de vapor de cada una de las capas que forman la envolvente térmica.

$$P_{sat} > P_n$$

La distribución de la presión de vapor de saturación a lo largo de las capas que conforman cada elemento de la envolvente térmica se calculará en función de la temperatura.

- a) Si la temperatura (θ) es mayor o igual a 0°C:

$$P_{sat} = 610,5 \cdot e^{\frac{17,269 \cdot \theta}{237,3 + \theta}}$$

- b) Si la temperatura (θ) es menor que 0°C:

$$P_{sat} = 610,5 \cdot e^{\frac{21,875 \cdot \theta}{265,5 + \theta}}$$

La distribución de temperaturas a lo largo del espesor de un cerramiento se calculará en función de:

Cálculo de la temperatura superficial exterior θ_{se} :	$\theta_{se} = \theta_e + \frac{R_{se}}{R_T} \cdot (\theta_i - \theta_e)$
Cálculo de la temperatura en cada una de las capas que componen el elemento constructivo:	$\theta_n = \theta_{n-1} + \frac{R_n}{R_T} \cdot (\theta_i - \theta_e)$
Cálculo de la temperatura superficial interior θ_{si} :	$\theta_{si} = \theta_n + \frac{R_{si}}{R_T} \cdot (\theta_i - \theta_e)$

La distribución de presión de vapor a lo largo de las capas que conforman cada elemento de la envolvente térmica se calculará:

$$P_n = P_{n-1} + \frac{S_{d(n)}}{\sum S_{dn}} \cdot (P_i - P_e)$$

- P_i : es la presión de vapor del aire interior [Pa];
- P_e : es la presión de vapor del aire exterior [Pa];
- $P_1 \dots P_{n-1}$: es la presión de vapor en cada capa n [Pa];
- $S_{d1} \dots S_{d(n)}$: es el espesor de aire equivalente de cada capa frente a la difusión del vapor de agua, calculado mediante la siguiente expresión [m].

$$S_{dn} = e_n \cdot \mu_n$$

- μ_n : es el factor de resistencia a la difusión del vapor de agua de cada capa, que se puede obtener a partir de valores térmicos declarados según la norma UNE EN ISO 10 456: 2012 o tomado de Documentos Reconocidos;
- e_n : es el espesor de la capa n [m].

Para el cálculo analítico de P_i y de P_e , en función de la temperatura y de la humedad relativa, se utiliza la siguiente expresión:

$$P_i = \Phi_i \cdot P_{sat}(\theta_i)$$

$$P_e = \Phi_e \cdot P_{sat}(\theta_e)$$

- Φ_i : es la humedad relativa del ambiente interior definida en el apartado 2.2.2 [en tanto por 1];
- Φ_e : es la humedad relativa del ambiente exterior definida en la tabla C.1 del Apéndice C del DA DB-HE/2 [en tanto por 1];
- P_i : es la presión de vapor del aire interior [Pa];
- P_e : es la presión de vapor del aire exterior [Pa].

Humedad relativa del ambiente interior definida en el apartado 2.2.2 del DA DB-HE/2.		
Clase de higrometría 5	correspondiente a espacios en los que se prevea una gran producción de humedad, tales como lavanderías, restaurantes y piscinas:	70 %
Clase de higrometría 4	correspondiente a espacios en los que se prevea una alta producción de humedad, tales como cocinas, pabellones deportivos, duchas colectivas u otros de uso similar:	62 %
Clase de higrometría 3 o inferior	correspondiente a espacios en los que no se prevea una alta producción de humedad, como oficinas, tiendas, zonas de almacenamiento y todos los espacios en edificios de uso residencial:	55 %

3.3.2 Condensaciones superficiales

Como consecuencia de las humedades por condensación superficial se produce un deterioro en las condiciones de habitabilidad: aparición de manchas, abultamientos y desprendimientos de la pintura y aparición de hongos. Por lo general, las humedades con condensación superficial se producen en invierno, que es cuando la superficie del trasdosado del cerramiento esta fría.

Las humedades por condensación se producen por:

- Puentes térmicos en la envolvente que generan zonas frías en la superficie interior de los cerramientos.
- Estancias y/o habitaciones donde la humedad relativa HR es alta, por poca ventilación o alta producción de humedad.

3.3.2.1 Cálculo de condensaciones superficiales

La comprobación de la limitación de condensaciones superficiales se basa en la comparación del *factor de temperatura de la superficie interior* f_{Rsi} y el factor de temperatura de la superficie interior mínimo $f_{Rsi,min}$ para las condiciones interiores y exteriores correspondientes al mes de enero de la localidad. A falta de mejores datos se pueden obtener de la tabla C.1 del apéndice C (DA DB-HE/2).

$$f_{Rsi} > f_{Rsi,min}$$

El factor de temperatura de la superficie interior mínimo $f_{Rsi,min}$, se calcula a partir de la tabla 1 (Imagen 3.28):

Categoría del espacio	α	Zona climática de invierno				
		A	B	C	D	E
Clase de higrometría 5	0,70	0,80	0,80	0,80	0,90	0,90
Clase de higrometría 4	0,56	0,66	0,66	0,69	0,75	0,78
Clase de higrometría 3 o inferior a 3	0,42	0,50	0,52	0,56	0,61	0,64

Imagen 3.28 (DA-DB HE/2): **Tabla 1. Factor de temperatura de la superficie interior mínimo $f_{Rsi,min}$.**

El cálculo del factor de temperatura de la superficie interior f_{Rsi} se calcula en función de la situación de la mínima temperatura dentro de la envolvente térmica:

Cerramiento de la envolvente térmica:

$$f_{Rsi} = 1 - U \cdot 0,25$$

– U es la transmitancia térmica del cerramiento, partición interior en el cerramiento [W/m²·K].

Puentes térmicos de la envolvente térmica:

$$f_{Rsi(x,y)} = \frac{\theta_{si(x,y)} - \theta_e}{\theta_i - \theta_e}$$

– $\theta_{si}(x,y)$ es la temperatura de la superficie interior en el punto (x,y);

– θ_i es la temperatura interior;

– θ_e es la temperatura exterior media en el mes de enero.

En el cálculo de la superficie interior f_{Rsi} para los puentes térmicos se aplican los métodos descritos en la norma **UNE-EN ISO 10211:2012** o en el Documento de Apoyo correspondiente.

Para calcular el punto con menor temperatura en un puente térmico debemos usar una aplicación informática como por ejemplo THERM.

3.4.- Cálculo y comprobación analítica de puentes térmicos

Los puentes térmicos se pueden definir como aquellas zonas de la envolvente térmica en las que se evidencia una variación de la uniformidad del aislamiento y, por tanto, una mayoración de la transmitancia térmica respecto al resto de la envolvente térmica.

La presencia de puentes térmicos ocasiona aumentos de la demanda energética, condensaciones y formación de moho. Esto se debe a la disminución de la temperatura de las superficies interiores.

La norma UNE-EN ISO 10211 define puente térmico como aquella parte del cerramiento de un edificio donde la resistencia térmica, normalmente uniforme, cambia significativamente debido a:

- a) penetraciones completas o parciales en el cerramiento de un edificio de materiales con diferente conductividad térmica;
- b) un cambio en el espesor de la fábrica;
- c) una diferencia entre las áreas internas o externas (juntas entre paredes, suelos, o techos).

3.4.1 Tipos de puentes térmicos

Los puentes térmicos más comunes son de dos dimensiones, es decir, puentes térmicos lineales, que se forman por la unión de dos elementos constructivos o por la discontinuidad del cerramiento de la envolvente.

Esto ocasiona un cambio del flujo de calor y por tanto un cambio en la temperatura superficial de la cara interior del elemento constructivo.

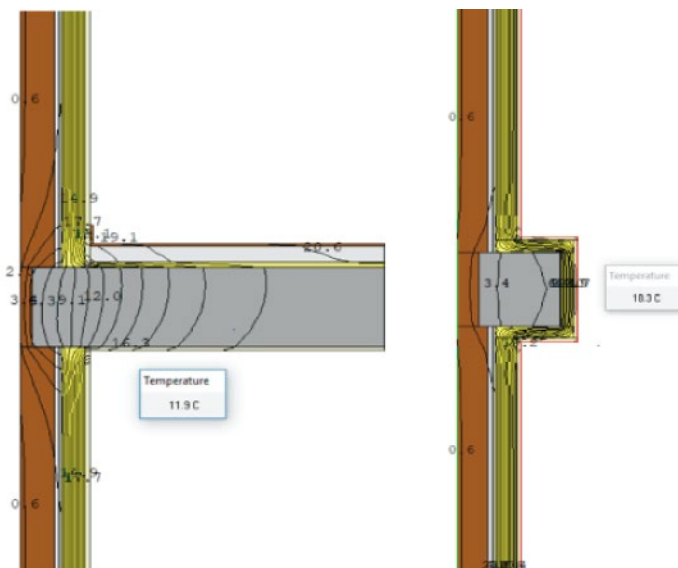


Imagen 3.29 (realizada por los autores).

Puentes térmicos integrados en los cerramientos	Pilares integrados en los cerramientos de las fachadas.
	Contorno de huecos y lucernarios.
	Cajas de persianas.
	Otros puentes térmicos integrados.
Puentes térmicos formados por encuentro de cerramiento	Frentes de forjado en las fachadas.
	Uniones de cubiertas con fachadas.
	Cubiertas con pretil.
	Cubiertas sin pretil.
	Uniones de fachadas con cerramientos en contacto con el terreno.
	Unión de fachada con losa o solera.
	Unión de fachada con muro enterrado o pantalla.
Esquinas o encuentros de fachadas, que, dependiendo de la posición del ambiente exterior se subdividen en	Esquinas entrantes.
	Esquinas salientes.
Encuentros de voladizos con fachadas	---
Encuentros de tabiquería interior con cerramientos exteriores	---

Además de puentes térmicos lineales, existen los puentes térmicos tridimensionales o puntuales. Estos aparecen cuando un cerramiento aislado es «cortado» por otro elemento constructivo con una alta conductividad térmica.

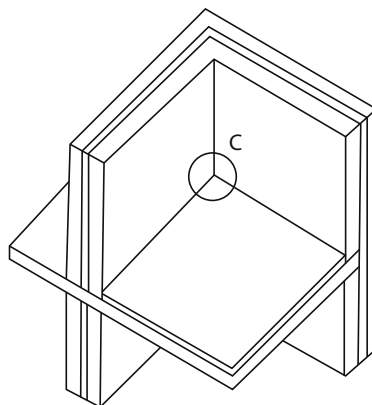


Imagen 3.30 (UNE-10211).

3.4.2 Transmitancia térmica lineal (ψ)

El efecto en el flujo de calor que producen los puentes térmicos en la envolvente térmica del edificio es la aparición de flujos de calor bidimensionales o tridimensionales, en lugar de un comportamiento uniforme que puede describirse suponiendo simplemente un flujo unidimensional.

La transmitancia térmica lineal ψ describe la transferencia térmica adicional de un encuentro (un puente térmico lineal) en relación a la transferencia térmica unidimensional de referencia que se produce en los elementos adyacentes.

$$\psi L = \frac{\Phi_{2D}}{(\theta_i - \theta_e)} - \sum_n (A_i U_i)$$

- ψ : transmitancia térmica lineal [W/mK];
- Φ_{2D} : flujo de calor a través del elemento analizado mediante un modelo bidimensional [W];
- L : longitud del encuentro [m];
- $\theta_i - \theta_e$: diferencia de temperaturas entre interior y exterior [K];
- U_i : transmitancia térmica del elemento adyacente i [W/m² K];
- A_i : superficie a la que se aplica el valor U_i [m²].

La transmitancia térmica línea (ψ) permite resumir en un único parámetro el comportamiento complejo de un puente térmico, de forma similar a como la transmitancia térmica (U) lo hace para un elemento con transmisión unidimensional.

La transmitancia térmica lineal se puede calcular con dimensiones por el exterior ψ_e y por el interior ψ_i . Es más conveniente realizar los cálculos con dimensiones interiores.

Como podemos observar analizando la fórmula de la transmitancia térmica lineal, el único parámetro que desconocemos cuando nos enfrentamos a un cálculo es el flujo de calor a través del elemento (Φ_{2D}). Para poder calcular este flujo necesitamos de un programa informático.

3.4.3 Atlas de puentes térmicos

El atlas de puentes térmicos se encuentra en el apartado 5 del Documento de Apoyo DA DB-HE/3.

Este apartado recoge unos valores aproximados de la transmitancia térmica lineal ψ para las soluciones constructivas más comunes.

Las soluciones se han agrupado por familias de detalles (pilares integrados en fachada, pilares en esquina, jambas), y estas en grupos ordenados de mejor a peor comportamiento (menor a mayor valor de ψ).

Es importante destacar que, en general, se aprecia que el factor más determinante para mejorar el comportamiento de los detalles constructivos es mantener la continuidad del aislamiento de los cerramientos.

3.5.- Modelización energética

La última actualización del Documento Básico en materia de ahorro energético ha establecido un nuevo escenario de actuación para cumplir con su articulado que, en materia de demanda energética necesaria para satisfacer las condiciones de confort climático interior, consiste básicamente en dos procedimientos diferenciados. Estos son, por un lado, la limitación del consumo energético máximo (HE0), cuantificado mediante el cálculo de la energía primaria no renovable y total; y, por otro lado, la garantía de unos mínimos en las condiciones térmicas de los componentes de la envolvente constructiva, evitando al tiempo las descompensaciones notables entre los diferentes espacios.

Con respecto a este último cometido, la normativa abre la posibilidad de llevarlo a cabo mediante la justificación documental y evaluación general que aporta el cálculo del coeficiente global de transmisión de calor a través de la envolvente térmica (K), cuya fórmula es la siguiente:

Coeficiente global de transmisión de calor (a través de la envolvente térmica del edificio) (K): Valor medio de coeficiente de transmisión de calor para la superficie de intercambio térmico de la envolvente (A_{int}). Se expresa en $W/m^2 \cdot K$:

$$K = \sum_x H_x / A_{int}$$

donde:

- H_x corresponde al coeficiente de transferencia de calor del elemento x perteneciente a la envolvente térmica (incluyendo sus *puentes térmicos*). Se incluyen aquellos elementos en contacto con el terreno, con el ambiente exterior y se excluyen aquellos en contacto con otros edificios u otros espacios adyacentes;
- A_{int} es el área de intercambio de la *envolvente térmica* obtenida como suma de los distintos componentes considerados en la transmisión de calor. Excluye, por tanto, las áreas de elementos de la *envolvente térmica* en contacto con edificios o espacios adyacentes exteriores a la *envolvente térmica*.

Imagen 3.31 (CTE HE-2019).

Para el cálculo que se requiere en el apartado anterior se establece como factible la justificación del cálculo de la energía primaria, tanto no renovable como total, mediante «simulación mediante un modelo térmico del edificio o métodos simplificados equivalentes».

En cualquier caso, los aspectos a considerar obligatoriamente no son pocos y pueden llegar a suponer un volumen de información a generar cuanto menos considerable. A título de recordatorio veamos ahora cuales son los que solicita este Documento Básico:

- El diseño, emplazamiento y orientación del edificio.
- La evolución hora a hora en régimen transitorio de los procesos térmicos.
- El acoplamiento térmico entre zonas adyacentes del edificio a distintas temperaturas.
- Solicitaciones exteriores, interiores, condiciones operacionales, teniendo en cuenta la posibilidad de que los espacios se comporten en oscilación libre.
- Las ganancias y pérdidas de energía por conducción a través de la envolvente térmica, compuesta por los cerramientos opacos, los huecos y los puentes térmicos, con consideración de la inercia térmica de los materiales.
- Las ganancias y pérdidas producidas por la radiación solar al atravesar los elementos transparentes o semitransparentes y las relacionadas con el calentamiento de elementos opacos de la envolvente térmica, considerando las propiedades de los elementos, su orientación e inclinación y las sombras propias del edificio u otros obstáculos que puedan bloquear dicha radiación.

- Las ganancias y pérdidas de energía producidas por el intercambio de aire con el exterior debido a ventilación e infiltraciones teniendo en cuenta las exigencias de calidad del aire de los distintos espacios y las estrategias de control empleadas.
- Las necesidades de los servicios de calefacción, refrigeración, ACS y ventilación, control de la humedad y, en usos distintos al residencial privado, de iluminación.
- El dimensionado y los rendimientos de los equipos y sistemas de producción de frío y de calor, ACS, ventilación, control de la humedad e iluminación.
- El empleo de distintas fuentes de energía, sean generadas in situ o remotamente o procedentes de biomasa sólida, biogás o gases renovables.
- Los coeficientes de paso de energía final o energía primaria procedente de fuentes renovables o no renovables.
- La contribución de energías renovables producidas in situ o en las proximidades de la parcela o procedentes de biomasa sólida, biogás o gases renovables.

De la anterior cita textual, es fácil interpretar el modelado energético como la opción de referencia, ya que claramente se anticipa como la opción que más garantías aportará sobre la certidumbre final de los datos de consumo calculados, a los que el proyectista se va a comprometer por escrito.

Téngase en cuenta siempre, que la actual versión de la normativa ya reconoce conceptualmente al ECCN (Edificio de Consumo Casi Nulo), por lo que el compromiso con los futuros propietarios y/o usuarios de las edificaciones adquiere digamos mayor tono.

Esta última es la razón que nos motiva a los autores de esta guía para recomendar la máxima exigencia y el mayor esfuerzo de aproximación a la realidad posible en el cálculo de estas variables, puesto que, más allá de una mera justificación normativa, se está adquiriendo, como ya se ha dicho, un compromiso a largo plazo sobre el comportamiento energético y consumo final de lo ejecutado materialmente. Para ello, se hace totalmente necesario el uso de aplicaciones informáticas con la suficiente capacidad para llegar a este resultado final.

En el momento de redacción de esta guía ya se cuenta en el mercado con varias herramientas de mayor o menor capacidad, todas ellas de libre distribución y con distintos motores de cálculo que no tienen por qué ser excluyentes. Entendemos que estas herramientas son complementarias las unas con las otras buscando el mejor fin y la mejor aproximación a esa realidad energética futura solicitada por la normativa.

Evidentemente, el técnico deberá escoger una herramienta en concreto para certificar los conceptos ya expuestos por la normativa, pero eso no impide que pueda utilizar otras que, siendo también válidas, le aporten mayor confianza, por ejemplo en cuanto a los cálculos previos y comprobaciones que todo análisis energético suele requerir.

Finalmente, y para cerrar este capítulo, recomendamos el uso de herramientas informáticas que aporten la mayor confianza y seguridad al técnico, puesto que será su experiencia práctica, tras muchos años de ejercicio profesional, la que validará una u otra hipótesis energética.

3.6.- Certificación energética

La certificación energética pone en contexto y facilita que el usuario final pueda comparar diferentes opciones desde la óptica de la eficiencia energética y desde la consideración de las emisiones de gases de efecto invernadero.

Ya han pasado algunos años desde la publicación y puesta en vigor del RD 235/2013, el cual vale la pena releer de vez en cuando para remarcar los puntos principales que lo integran y que afectan al ejercicio profesional.

De entre todos estos puntos, destinados en su mayoría a definir el ámbito de actuación, el proceso de certificación, sus agentes, la correcta gestión del procedimiento, así como incluso el régimen sancionador, creemos necesario rescatar los siguientes:

En el artículo 5 de esta norma, en el punto 4, se cita textualmente lo siguiente:

El certificado de eficiencia energética dará información exclusivamente sobre la eficiencia energética del edificio y no supondrá en ningún caso la acreditación del cumplimiento de ningún otro requisito exigible al edificio. Este deberá cumplir previamente con los requisitos mínimos de eficiencia energética que fije la normativa vigente en el momento de su construcción.

Esta información tiene toda la razón de ser en relación con lo expresado ya en el punto anterior de esta guía. Punto en el que se recomendaba el mayor rigor posible en la aproximación al resultado de consumo energético futuro del edificio que se trate, limitado este por la normativa a un máximo dependiendo de las circunstancias propias del mismo. Por lo tanto, hay que poner de manifiesto la necesidad de separar dos procedimientos técnicos que, aunque compartiendo valores, cálculos e incluso herramientas, deben tener su independencia, y más si cabe con el incremento progresivo de las exigencias en cuanto a la limitación de consumo energético.

En el punto 5 del mismo artículo se puede leer:

Durante el proceso de certificación, el técnico competente realizará las pruebas y comprobaciones necesarias, con la finalidad de establecer la conformidad de la información contenida en el certificado de eficiencia energética con el edificio o con la parte del mismo.

Esta exigencia quizá sea la más difícil de gestionar en contraste con la realidad del día a día del ejercicio profesional, el actual «mercado particular» de la certificación energética, y sobre todo en un sector de la edificación muy concreto, el de los edificios existentes. Pero esto no evita que el técnico tenga que hacerse cargo de la responsabilidad de los efectos que se deriven de su trabajo profesional.

Sirva esta reflexión para ponernos todos en el contexto que nos exige la actual normativa en materia de limitación energética.

3.7.- Desarrollo y defensa de medidas de mejora para edificación existente

Ya en el artículo 6, apartado f, del RD 235/2013 se dice que:

Para los edificios existentes, documento de recomendaciones para la mejora de los niveles óptimos o rentables de la eficiencia energética de un edificio o de una parte de este, a menos que no exista ningún potencial razonable para una mejora de esa índole en comparación con los requisitos de eficiencia energética vigentes. Las recomendaciones incluidas en el certificado de eficiencia energética abordarán:

- 1) Las medidas aplicadas en el marco de reformas importantes de la envolvente y de las instalaciones técnicas de un edificio.
- 2) Las medidas relativas a elementos de un edificio, independientemente de la realización de reformas importantes de la envolvente o de las instalaciones técnicas de un edificio.

Las recomendaciones incluidas en el certificado de eficiencia energética serán técnicamente viables y podrán incluir una estimación de los plazos de recuperación de la inversión o de la rentabilidad durante su ciclo de vida útil.

Contendrá información dirigida al propietario o arrendatario sobre dónde obtener información más detallada, incluida información sobre la relación coste-eficacia de las recomendaciones formuladas en el certificado. La evaluación de esa relación se efectuará sobre la base de una serie de criterios estándares, tales como la evaluación del ahorro energético, los precios subyacentes de la energía y una previsión de costes preliminar. Por otro lado, informará de las actuaciones que se hayan de emprender para llevar a la práctica las recomendaciones. Asimismo, se podrá facilitar al propietario o arrendatario información sobre otros temas conexos, como auditorías energéticas o incentivos de carácter financiero o de otro tipo y posibilidad de financiación. Para ello se podrán aplicar los criterios correspondientes del Reglamento Delegado (UE) n.º 244/2012 de la Comisión, de 16 de enero de 2012, que permite calcular los niveles óptimos de rentabilidad de los requisitos mínimos de eficiencia energética de los edificios y de sus elementos.

Algo se ha comentado ya en los foros especializados sobre el carácter voluntario de las medidas de mejora a las que alude el punto anterior. Creemos vale la pena rescatar íntegramente el texto para que el lector extraiga sus propias conclusiones.

De todo lo anterior, se puede concluir que no es de obligado cumplimiento una justificación económica de las medidas de mejora. De hecho incluso así se hace constar en el apartado de preguntas frecuentes de la web del ministerio competente: <https://energia.gob.es/desarrollo/EficienciaEnergetica/CertificacionEnergetica/Paginas/RealDecreto-235-2013.aspx>.

Sin embargo, desde estas páginas nos sentimos obligados a recomendar la puesta en valor de este apartado propio del proceso de certificación energética que, aunque aparentemente voluntario en su desarrollo, tiene un potencial más que considerable para cumplir con los objetivos que está marcando toda la legislación vigente de transición hacia un parque edificatorio más responsable energéticamente.

Materias como la definición constructiva, el estudio en detalle y la valoración económica especializada han sido siempre competencias clásicas del colectivo profesional de la arquitectura técnica que está en la mejor disposición para atender a los retos y oportunidades que la eficiencia energética en edificación está planteando.

PARTE 2

DESARROLLO DE
LAS NOVEDADES
REGLAMENTARIAS
Y RECOMENDACIONES
PARA EL EJERCICIO
PROFESIONAL



PARTE 2

CAPÍTULO 4.º

NOVEDADES TÉCNICAS
DEL CTE / DB.HE - 2019



CAPÍTULO 4.º Novedades técnicas del CTE / DB.HE - 2019

Una vez conocidos los conceptos básicos indicados en los capítulos anteriores, vamos a proceder a explicar las limitaciones en eficiencia energética indicadas en el HE-2019.

4.1.- LIMITACIÓN DEL CONSUMO ENERGÉTICO HE-0

4.1.1 Ámbito de aplicación

- Edificios de nueva construcción.
- Intervenciones en edificios existentes en los siguientes casos:

Casos	Aplicación
Ampliaciones en las que se incremente más de un 10 % la superficie o el volumen construido de la unidad o unidades de uso sobre las que se intervenga, cuando la superficie útil total ampliada supere los 50 m ² .	A la parte ampliada y a la unidad o unidades de uso que cambian de uso.
Cambios de uso, cuando la superficie útil total supere los 50 m ² .	
Reformas en las que se renueven de forma conjunta las instalaciones de generación térmica y más del 25 % de la superficie total de la envolvente térmica final del edificio.	Al conjunto del edificio.

4.1.2 Exclusión del ámbito de aplicación

- Los edificios protegidos oficialmente, por ser parte de un entorno declarado o en razón de su particular valor arquitectónico o histórico, en la medida en que el cumplimiento de determinadas exigencias básicas de eficiencia energética pudiese alterar de manera inaceptable su carácter o aspecto, siendo la autoridad que dicta la protección oficial quien determine los elementos inalterables.
- Construcciones provisionales con un plazo previsto de utilización igual o inferior a dos años.
- Edificios industriales, de Defensa y agrícolas no residenciales, o partes de los mismos de baja demanda energética. Aquellas zonas que no requieran garantizar unas condiciones térmicas de confort, como las destinadas a talleres y procesos industriales, se considerarán de baja demanda energética.
- Edificios aislados con una superficie útil total inferior a 50 m².

4.1.3 Cuantificación de la exigencia

Antes de la entrada en vigor del CTE-HE-2019, el valor límite del consumo energético de energía primaria no renovable ($C_{ep,lim}$) se calculaba a partir de un valor base de consumo energético de energía primaria no renovable ($C_{ep,base}$), el cual se determinaba en función de la zona climática donde está ubicada la edificación. Además, se tenía en cuenta un factor de corrección por la superficie del consumo energético de energía primaria no renovable ($F_{ep,sup}$), el cual se dividía por la superficie útil de los espacios habitables del edificio o parte ampliada.

$$C_{ep,lim} = C_{ep,base} + F_{ep,sup} / S$$

	Zona climática de invierno					
	α	A*	B*	C*	D	E
$C_{ep,base} [kW \cdot h/m^2 \cdot año]$	40	40	45	50	60	70
$F_{ep,sup}$	1000	1000	1000	1500	3000	4000

* Los valores de $C_{ep,base}$ para las zonas climáticas de invierno A, B, C, D y E de Canarias, Baleares, Ceuta y Melilla se obtendrán multiplicando los valores de $C_{ep,base}$ de esta tabla por 1,2.

La siguiente tabla muestra los valores límite obtenidos para varias superficies del edificio:

Severidad climática de invierno	Energía primaria límite [$kW \cdot h/m^2 \cdot año$]					
	α	A	B	C	D	E
Superficie útil = 100 m ²	50	50	55	65	90	110
Superficie útil = 500 m ²	42	42	47	53	66	78
Superficie útil = 1000 m ²	41	41	46	52	63	74
Superficie útil = 5000 m ²	40	40	45	50	60	71

Imagen 4.1 (CTE-HE 2013): **Tabla 2.1. Valor base y factor corrector por superficie del consumo energético.**

Con la entrada en vigor del nuevo CTE-HE-2019, pasamos a determinar el valor límite del consumo de energía primaria no renovable, directamente a partir de una tabla, sin tener en cuenta ningún factor de corrección.

Además, como novedad, el nuevo HE-2019 limita el consumo de energía primaria total que deben consumir nuestras edificaciones, proceda o no, la energía consumida de una fuente renovable.

4.1.3.1 Consumo de energía primaria no renovable

El consumo de energía primaria no renovable ($C_{ep,nren}$) de los espacios contenidos en el interior de la envolvente térmica del edificio o, en su caso, de la parte del edificio considerada, no superará el valor límite ($C_{ep,nren,lim}$) obtenido de la tabla 3.1.a-HE0 o la tabla 3.1.b-HE0 (Imagen 4.2).

Para uso residencial privado.

	Zona climática de invierno					
	α	A	B	C	D	E
Edificios nuevos y ampliaciones	20	25	28	32	38	43
Cambios de uso a residencial privado y reformas	40	50	55	65	70	80

En territorio extrapeninsular (Illes Balears, Canarias, Ceuta y Melilla) se multiplicarán los valores de la tabla por 1,25.

Para uso distinto del residencial privado.

Zona climática de invierno						
α	A	B	C	D	E	
$70 + 8 \cdot C_{FI}$	$55 + 8 \cdot C_{FI}$	$50 + 8 \cdot C_{FI}$	$35 + 8 \cdot C_{FI}$	$20 + 8 \cdot C_{FI}$	$10 + 8 \cdot C_{FI}$	

C_{FI} Carga interna media [W/m^2]

En territorio extrapeninsular (Illes Balears, Canarias, Ceuta y Melilla) se multiplicarán los valores resultantes por 1,40.

Imagen 4.2 (CTE-HE 2019): Tabla 3.1.a y tabla 3.1 b - HE0. Valor límite $C_{ep,nren,lim}$ [$kW \cdot h/m^2 \cdot a\tilde{no}$].

En edificios que tengan unidades de uso residencial privado junto a otras de distinto uso, el valor límite del consumo de energía primaria no renovable ($C_{ep,nren,lim}$) se deberá aplicar de forma independiente a cada una de las partes del edificio con uso diferenciado.

4.1.3.2 Consumo de energía primaria total

El consumo de energía primaria total ($C_{ep,tot}$) de los espacios contenidos en el interior de la envolvente térmica del edificio o, en su caso, de la parte del edificio considerada, no superará el valor límite ($C_{ep,tot,lim}$) obtenido de la tabla 3.2.a-HE0 o de la tabla 3.2.b-HE0:

	Zona climática de invierno					
	α	A	B	C	D	E
Edificios nuevos y ampliaciones	40	50	56	64	76	86
Cambios de uso a residencial privado y reformas	55	75	80	90	105	115

En territorio extrapeninsular (Illes Balears, Canarias, Ceuta y Melilla) se multiplicarán los valores de la tabla por 1,15.

Imagen 4.3 (CTE-HE 2019): Tabla 3.2.a - HE0. Valor límite $C_{ep,tot,lim}$ [$kW \cdot h/m^2 \cdot a\tilde{no}$] para uso residencial privado.

Zona climática de invierno						
α	A	B	C	D	E	
$165 + 9 \cdot C_{FI}$	$155 + 9 \cdot C_{FI}$	$150 + 9 \cdot C_{FI}$	$140 + 9 \cdot C_{FI}$	$130 + 9 \cdot C_{FI}$	$120 + 9 \cdot C_{FI}$	

C_{FI} Carga interna media [W/m^2]

En territorio extrapeninsular (Illes Balears, Canarias, Ceuta y Melilla) se multiplicarán los valores resultantes por 1,40.

Imagen 4.4 (CTE-HE 2019): Tabla 3.2.b - HE0. Valor límite $C_{ep,tot,lim}$ [$kW \cdot h/m^2 \cdot a\tilde{no}$] para uso distinto del residencial privado.

En edificios que tengan unidades de uso residencial privado junto a otras de distinto uso, el valor límite del consumo de energía primaria total ($C_{ep,tot,lim}$) se deberá aplicar de forma independiente a cada una de las partes del edificio con uso diferenciado.

Aclaraciones	
Consumo de energía primaria total	Es el valor global de la energía primaria que es necesario suministrar a los sistemas. Incluye tanto la energía suministrada y la producida in situ, como la extraída del medioambiente.
Consumo de energía primaria no renovable	Es la parte no renovable de la energía primaria que es necesario suministrar a los sistemas. Se determina teniendo en cuenta el valor del coeficiente de paso del componente no renovable de cada vector energético.

En el caso de edificios de uso residencial privado, cuando no se defina en proyecto sistemas para el servicio de calefacción, refrigeración o calentamiento de agua, se considerará, a efectos de cálculo, la presencia de un sistema con las características indicadas en la tabla 4.5-HE0.

Tecnología	Vector energético	Rendimiento nominal
Producción de calor y ACS	Gas natural	0,92 (PCS)
Producción de frío	Electricidad	2,60

Imagen 4.5 (CTE-HE 2019): Tabla 4.5 - HE0. Sistemas de referencia.

Esto quiere decir que, si al modelar nuestra edificación no introducimos un sistema de climatización o de producción de ACS, el programa informático que se haya seleccionado para cumplir con los parámetros establecidos en el HE generará internamente un sistema de climatización o de ACS con el vector energético y el rendimiento nominal indicado en la tabla 4.5-HE0. Es decir, un sistema muy poco eficiente, lo que nos penalizará en el cálculo.

4.2.- LIMITACIÓN DE LA DEMANDA ENERGÉTICA HE-1

4.2.1 Ámbito de aplicación

- a) Edificios de nueva construcción.
- b) Intervenciones en edificios existentes:
 - Ampliaciones.
 - Cambios de uso.
 - Reformas.

4.2.2 Exclusión del ámbito de aplicación

- a) Los edificios protegidos oficialmente, por ser parte de un entorno declarado o en razón de su particular valor arquitectónico o histórico, en la medida en que el cumplimiento de determinadas exigencias básicas de eficiencia energética pudiese alterar de manera inaceptable su carácter o aspecto, siendo la autoridad que dicta la protección oficial quien determine los elementos inalterables.
- b) Construcciones provisionales con un plazo previsto de utilización igual o inferior a dos años.
- c) Edificios industriales, de la defensa y agrícolas no residenciales, o partes de los mismos, de baja demanda energética. Aquellas zonas que no requieran garantizar unas condiciones térmicas de confort, como las destinadas a talleres y procesos industriales, se considerarán de baja demanda energética.
- d) Edificios aislados con una superficie útil total inferior a 50 m².

Esta sección es la que más ha cambiado en el nuevo CTE-HE-2019, ya que se ha eliminado el concepto de limitación de demanda energética y se ha sustituido por una serie de parámetros que conforman la «calidad de la envolvente térmica». Estos parámetros son:

K	Coeficiente global de transmisión de calor a través de la envolvente térmica.	Valor medio del coeficiente de transmisión de calor para la superficie de intercambio térmico de la envolvente.
q_{sol;jul}	Control solar.	Es la relación entre las ganancias solares para el mes de julio de los huecos pertenecientes a la envolvente térmica con sus protecciones solares móviles activadas y la superficie útil de los espacios incluidos dentro de la envolvente térmica.
Q₁₀₀	Permeabilidad al aire de los huecos.	Permeabilidad al aire de los huecos de la envolvente térmica, medida con una sobrepresión de 100 Pa.
n₅₀	Relación del cambio de aire.	Relación del cambio de aire, medida con una sobrepresión de 50 Pa. Es la limitación de la permeabilidad al aire del edificio.

Además, la envolvente térmica y las particiones interiores deben cumplir una transmitancia térmica mínima, por tanto, cada elemento que compone la envolvente térmica y las particiones interiores no superará una transmitancia térmica límite.

Por último, algo de mucha importancia: hay que comprobar la limitación de las condensaciones intersticiales y superficiales en la envolvente térmica.

4.2.3 Coeficiente global de transmisión de calor a través de la envolvente térmica (k)

Es el valor medio del coeficiente de transmisión de calor para la superficie de intercambio térmico de la envolvente (A_{int}). Se expresa en W/m² K.

$$K = \sum_x H_x / A_{int}$$

- H_x : corresponde al coeficiente de transferencia de calor del elemento x perteneciente a la envolvente térmica (incluyendo sus puentes térmicos). Se incluyen aquellos elementos en contacto con el terreno, con el ambiente exterior, y se excluyen aquellos en contacto con otros edificios u otros espacios adyacentes;
- A_{int} : es el área de intercambio de la envolvente térmica obtenida como suma de los distintos componentes considerados en la transmisión de calor. Excluye, por tanto, las áreas de elementos de la envolvente térmica en contacto con edificios o espacios adyacentes.

De forma simplificada, puede calcularse este parámetro a partir de las transmitancias térmicas y superficies de los elementos de la envolvente térmica y de un factor de ajuste:

$$K = \sum_x b_{tr,x} [\sum_i A_{x,i} U_{x,i} + \sum_k l_{x,k} \psi_{x,k} + \sum_j x_{x,j}] / \sum_x \sum_i b_{tr,x} A_{x,i}$$

- $b_{tr,x}$: es el factor de ajuste para los elementos de la envolvente. Su valor es 1 excepto para elementos en contacto con edificios o espacios adyacentes donde toma el valor 0;
- $A_{x,i}$: es el área de intercambio del elemento de la envolvente térmica considerado;
- $U_{x,i}$: es el valor de la transmitancia térmica del elemento de la envolvente térmica considerado;
- $l_{x,k}$: es la longitud del puente térmico considerado;
- $\psi_{x,k}$: es el valor de la transmitancia térmica lineal del puente térmico considerado;
- $x_{x,j}$: es la transmitancia puntual del puente térmico considerado.

En el cálculo simplificado no se considera la transmitancia y superficie de las soluciones constructivas diseñadas para reducir las necesidades energéticas (invernaderos adosados, muros parieto-dinámicos, muros Trombe, etc.).

Los valores límite del coeficiente global de transmisión de calor a través de la envolvente térmica (K_{lim}), son:

	Compacidad V/A [m^3/m^2]	Zona climática de invierno					
		α	A	B	C	D	E
Edificios nuevos y ampliaciones	V/A ≤ 1	0,67	0,60	0,58	0,53	0,48	0,43
	V/A ≥ 4	0,86	0,80	0,77	0,72	0,67	0,62
Cambios de uso. Reformas en las que se renueve más del 25 % de la superficie total de la envolvente térmica final del edificio	V/A ≤ 1	1,00	0,87	0,83	0,73	0,63	0,54
	V/A ≥ 4	1,07	0,94	0,90	0,81	0,70	0,62

Los valores límite de las compacidades intermedias ($1 < V/A < 4$) se obtienen por interpolación.

En el caso de ampliaciones los valores límite se aplicarán en caso de que la superficie o el volumen construido se incrementen más del 10 %.

Imagen 4.6 (CTE-HE 2019): Tabla 3.1.1.b - HE1. Valor límite K_{lim} [W/m^2K] para uso residencial privado.

	Compacidad V/A [m^3/m^2]	Zona climática de invierno					
		α	A	B	C	D	E
Edificios nuevos. Ampliaciones. Cambios de uso. Reformas en las que se renueve más del 25 % de la superficie total de la envolvente térmica final del edificio.	V/A ≤ 1	0,96	0,81	0,76	0,65	0,54	0,43
	V/A ≥ 4	1,12	0,98	0,92	0,82	0,70	0,59

Los valores límite de las compacidades intermedias ($1 < V/A < 4$) se obtienen por interpolación.

En el caso de ampliaciones los valores límite se aplicarán en caso de que la superficie o el volumen construido se incrementen más del 10 %.

Las unidades de uso con actividad comercial cuya compacidad V/A sea mayor que 5 se eximen del cumplimiento de los valores de esta tabla.

Imagen 4.7 (CTE-HE 2019): Tabla 3.1.1.c - HE1. Valor límite K_{lim} [W/m^2K] para uso distinto del residencial privado.

4.2.4 Control solar ($q_{sol;jul}$)

Es la relación entre las ganancias solares para el mes de julio de todos los huecos de la envolvente térmica ($Q_{sol;jul}$) con sus protecciones solares activadas y el área útil del edificio (A_{util}). Puede aplicarse al edificio o a parte del mismo.

Para su cálculo de forma simplificada, se considera nula la energía reirradiada al cielo.

$$q_{sol;jul} = Q_{sol;jul} / A_{util} = (\sum_k F_{sh;obst} \cdot g_{gl;sh;wi} \cdot (1 - F_F) \cdot A_{w;p} \cdot H_{sol;jul}) / A_{util}$$

- $F_{sh;obst}$: es el factor reductor por sombreado por obstáculos externos (comprende todos los elementos exteriores al hueco como voladizos, aletas laterales, retranqueos, obstáculos remotos, etc.), para el mes de julio, del hueco k, y representa la reducción en irradiación solar incidente debida al sombreado permanente de dichos obstáculos;
- $g_{gl;sh;wi}$: es la transmitancia total de energía solar del acristalamiento con el dispositivo de sombra móvil activado, para el mes de julio y del hueco k;
- F_F : es la fracción de marco del hueco k (puede adoptarse el valor de 0,25);
- $A_{w;p}$: es la superficie (m^2) proyectada del hueco k;
- $H_{sol;jul}$: es la irradiación solar media acumulada del mes de julio ($kWh/m^2 \cdot mes$) para el clima considerado y la inclinación y orientación del hueco k.

Los valores $F_{sh;obst}$, $g_{gl;sh;wi}$, $H_{sol;jul}$ se obtienen de las tablas destinadas a este fin del DA DB-HE/1.

Los valores límite del parámetro del control solar ($q_{sol;jul;lim}$) son:

Uso	$q_{sol;jul}$
Residencial privado	2,00
Otros usos	4,00

Imagen 4.8 (CTE-HE 2019): Tabla 3.1.2 - HE1. Valor límite del parámetro de control solar, $q_{sol;jul;lim}$ [$kWh/m^2 \cdot mes$].

4.2.5 Permeabilidad al aire de la envolvente térmica Q_{100}

La permeabilidad al aire de los huecos de la envolvente térmica se extrae de una clasificación de permeabilidad de aire que regula la norma UNE – EN 12207:2017 (imagen 4.9).

4.5.1 Clasificación de ventanas y puertas peatonales.

Clase	Permeabilidad al aire de referencia a 100 Pa $m^3/(h \cdot m^2)$	Presión máxima de ensayo Pa
1	50	150
2	27	300
3	9	600
4	3	600

Imagen 4.9 (UNE 12207): Tabla 1 - Permeabilidad al aire de referencia relacionada con la superficie total.

El valor límite de la permeabilidad al aire de los huecos que pertenezcan a la envolvente térmica no superará los valores límite ($Q_{100;lim}$):

	Zona climática de invierno					
	α	A	B	C	D	E
Permeabilidad al aire de huecos ($Q_{100,lim}$)*	≤ 27	≤ 27	≤ 27	≤ 9	≤ 9	≤ 9

- * La permeabilidad indicada es la medida con una sobrepresión de 100 Pa, Q_{100} .
 Los valores de permeabilidad establecidos se corresponden con los que definen la clase 2 ($<27\text{m}^3/\text{h}\cdot\text{m}^2$) y clase 3 ($<9\text{m}^3/\text{h}\cdot\text{m}^2$) de la UNE-EN 12207:2017.
 La permeabilidad del hueco se obtendrá teniendo en cuenta, en su caso, el cajón de persiana.

Imagen 4.10 (CTE-HE 2019): **Tabla 3.1.1.a - HE1. Valor límite de permeabilidad al aire de huecos de la envolvente térmica, $Q_{100,lim}$ [$\text{m}^3/\text{h}\cdot\text{m}^2$].**

4.2.6 Relación del cambio de aire n_{50}

Esta determinación se puede realizar mediante:

1. Determinación mediante ensayo.

Ensayo realizado según el método B de la norma UNE-EN 13829:2002. Determinación de la estanqueidad al aire en edificios. Método de presurización por medio de ventilador.

En este punto los autores de la presente guía hemos detectado un error en la normativa, ya que la norma UNE-EN 13829:2002 está derogada desde el 03/07/2019, siendo la normativa que realmente regula este ensayo la UNE-EN-ISO 9972:2019.

2. Determinación mediante valores de referencia.

El valor de la *relación del cambio de aire* a 50 Pa, n_{50} , puede calcularse a partir de la siguiente expresión:

$$n_{50} = 0,629 \cdot (C_o \cdot A_o + C_h \cdot A_h) / V$$

- C_o : es el coeficiente de caudal de aire de la parte opaca de la envolvente térmica, expresada a 100 Pa, en [$\text{m}^3/\text{h}\cdot\text{m}^2$], obtenido de la tabla a-Anejo H;
- A_o : es la superficie de la parte opaca de la envolvente térmica, en [m^2];
- C_h : es la permeabilidad de los huecos de la envolvente térmica, expresada a 100Pa, en [$\text{m}^3/\text{h}\cdot\text{m}^2$], según su valor de ensayo;
- A_h : es la superficie de los huecos de la envolvente térmica, en [m^2];
- V : es el volumen interno de la envolvente térmica, en [m^3];

Tipo de edificio	C_o
Nuevo o existente con permeabilidad mejorada.	16
Existente.	29

Imagen 4.11 (CTE-HE 2019): **Tabla a-Anejo H. Valores de referencia del coeficiente de caudal de aire para la parte opaca de la envolvente térmica, C_o [$\text{m}^3/\text{h}\cdot\text{m}^2$] (100 Pa).**

Como se puede observar, se deja a elección del técnico el método de determinación de la relación del cambio de aire n_{50} . Por tanto, nunca es obligatoria la realización del ensayo método B de la norma UNE-EN 13829:2002 en caso del cumplimiento del método mediante valores de referencia, aunque sí es muy recomendable.

El valor límite de la relación del cambio de aire ($n_{50;lim}$):

Compacidad V/A [m^3/m^2]	n_{50}
$V/A \leq 2$	6
$V/A \geq 4$	3

Los valores límite de las compacidades intermedias ($2 < V/A < 4$) se obtienen por interpolación.

Imagen 4.12 (CTE-HE 2019): **Tabla 3.1.3.b - HE1. Valor límite de la relación del cambio de aire con una presión de 50 Pa, n_{50} [h^{-1}].**

Cabe destacar que el artículo 3.1.3 Permeabilidad al aire de la envolvente térmica, apartado 1 del CTE-HE-2019, indica lo siguiente:

Las soluciones constructivas y condiciones de ejecución de los elementos de la envolvente térmica asegurarán una adecuada estanqueidad al aire. Particularmente, se cuidarán los encuentros entre huecos y opacos, puntos de paso a través de la envolvente térmica y puertas de paso a espacios no acondicionados.

Para el redactor de la presente guía la única manera de «asegurar» una adecuada estanqueidad al aire de la envolvente térmica es procediendo al encintado de todas las juntas, encuentros entre huecos y opacos, puntos de paso, etc.

4.2.7 Transmitancia térmica máxima de cada elemento perteneciente a la envolvente térmica

Los valores de transmitancia de los elementos que pertenecen a la envolvente térmica del edificio no superarán los valores límite de la tabla 3.1.1.a-HE1 (imagen 4.13):

Elemento	Zona climática de invierno					
	α	A	B	C	D	E
Muros y suelos en contacto con el aire exterior (U_s, U_M)	0,80	0,70	0,56	0,49	0,41	0,37
Cubiertas en contacto con el aire exterior (U_c)	0,55	0,50	0,44	0,40	0,35	0,33
Muros, suelos y cubiertas en contacto con espacios no habitables o con el terreno (U_T) Medianerías o particiones interiores pertenecientes a la envolvente térmica (U_{MD})	0,90	0,80	0,75	0,70	0,65	0,59
Huecos (conjunto de marco, vidrio y, en su caso, cajón de persiana) (U_H)*	3,2	2,7	2,3	2,1	1,8	1,8
Puertas con superficie semitransparente igual o inferior al 50 %	5,7					

* Los huecos con uso de escaparate en unidades de uso con actividad comercial pueden incrementar el valor de U_H en un 50%.

Imagen 4.13 (CTE-HE 2019): **Tabla 3.1.1.a - HE1. Valores límite de transmitancia térmica, U_{lim} [W/m^2K].**

4.2.8 Limitación de descompensaciones

Los valores máximos de transmitancia térmica de las particiones interiores del edificio no superarán el valor de la tabla 3.2 – HE1.

	Tipo de elemento	Zona climática de invierno					
		α	A	B	C	D	E
Entre unidades del mismo uso.	Particiones horizontales.	1,90	1,80	1,55	1,35	1,20	1,00
	Particiones verticales.	1,40	1,40	1,20	1,20	1,20	1,00
Entre unidades de distinto uso. Entre unidades de uso y zonas comunes.	Particiones horizontales y verticales.	1,35	1,25	1,10	0,95	0,85	0,70

Imagen 4.14 (CTE-HE 2019): Tabla 3.2 - HE1. Transmitancia térmica límite de particiones interiores, U_{lim} [W/m²K].

4.2.9 Limitación de condensaciones en la envolvente térmica

En el caso de que se produzcan condensaciones intersticiales en la envolvente térmica del edificio, estas serán tales que no produzcan una merma significativa en sus prestaciones térmicas o supongan un riesgo de degradación o pérdida de su vida útil. En ningún caso, la máxima condensación acumulada en cada periodo anual podrá superar la cantidad de evaporación posible en el mismo periodo.

Del mismo modo, las condensaciones superficiales suponen fundamentalmente un riesgo en relación a la salubridad, por la formación de mohos.

En el Documento Básico DA DB-HE/2 se recogen los procedimientos para el cálculo del riesgo de condensaciones intersticiales y superficiales.

4.3.- INSTALACIONES DE ILUMINACIÓN HE-3

4.3.1 Ámbito de aplicación

- Edificios de nueva construcción.
- Intervenciones en edificios existentes con:
 - Renovación o ampliación de una parte de la instalación.
 - Cambio de uso característico del edificio.
 - Cambios de actividad en una zona del edificio.

4.3.2 Exclusión del ámbito de aplicación

- Instalaciones interiores de viviendas.
- Instalaciones de alumbrado de emergencia.
- Edificios protegidos oficialmente por ser parte de un entorno declarado o en razón de su particular valor arquitectónico o histórico, en la medida en que el cumplimiento de determinadas exigencias básicas de eficiencia energética pudiese alterar de manera inaceptable su carácter o aspecto, siendo la autoridad que dicta la protección oficial quien determine los elementos inalterables.
- Construcciones provisionales con un plazo previsto de utilización igual o inferior a dos años.

- Edificios aislados con una superficie útil total inferior a 50 m².
- Edificios industriales, de la defensa y agrícolas, o parte de los mismos, en la parte destinada a talleres y procesos industriales, de la defensa y agrícolas no residenciales.

4.3.3 En el caso de intervenciones en edificios existentes, se considerarán los siguientes criterios de aplicación:

- a) Se aplicará esta sección a las instalaciones de iluminación interior de todo el edificio en los siguientes casos:
 - Intervenciones en edificios existentes con una superficie útil total final (incluidas las partes ampliadas, en su caso) superior a 1000 m², donde se renueve más del 25 % de la superficie iluminada.
 - Cambios de uso característico.
- b) Cuando se renueve o amplíe una parte de la instalación, se adecuará la parte de la instalación renovada o ampliada para que se cumplan los valores de eficiencia energética límite en función de la actividad.
- c) Cuando la renovación afecte a zonas del edificio para las cuales se establezca la obligatoriedad de sistemas de control o regulación, se dispondrá de estos sistemas.
- d) En cambios de actividad en una zona del edificio que impliquen un valor más bajo del Valor de Eficiencia Energética de la Instalación (VEEI) límite respecto al de la actividad inicial, se adecuará la instalación de dicha zona.

4.3.4 Cuantificación de la exigencia

4.3.4.1 Eficiencia energética de la instalación de iluminación

El valor de eficiencia energética de la instalación (VEEI) de la instalación de iluminación no superará el valor límite (VEEI_{lim}) establecido en la tabla 3.1-HE3 (imagen 4.15):

Uso del recinto	VEEI límite
Administrativo en general	3,0
Andenes de estaciones de transporte	3,0
Pabellones de exposición o ferias	3,0
Salas de diagnóstico	3,5
Aulas y laboratorios	3,5
Habitaciones de hospital	4,0
Recintos interiores no descritos en este listado	4,0
Zonas comunes	4,0
Almacenes, archivos, salas técnicas y cocinas	4,0
Aparcamientos	4,0
Espacios deportivos	4,0
Estaciones de transporte	5,0
Supermercados, hipermercados y grandes almacenes	5,0
Bibliotecas, museos y galerías de arte	5,0
Zonas comunes en edificios no residenciales	6,0
Centros comerciales (excluidas tiendas)	6,0
Hostelería y restauración	8,0
Religioso en general	8,0
Salones de actos, auditorios y salas de usos múltiples y convenciones, salas de ocio o espectáculo, salas de reuniones y salas de conferencias	8,0
Tiendas y pequeño comercio	8,0
Habitaciones de hoteles, hostales, etc.	10,0
Locales con nivel de iluminación superior a 600 lux	2,5

Imagen 4.15 (CTE-HE 2019): **Tabla 3.1 - HE3. Valor límite de eficiencia energética de la instalación (VEEI_{lim}).**

El valor de eficiencia energética de la instalación (VEEI) es el valor que mide la eficiencia energética de una instalación de iluminación de un espacio o local con un determinado uso y, por tanto, con unos parámetros de iluminación acordes con el mismo. En este valor de eficiencia no se incluyen las instalaciones de iluminación de escaparates o espacios destinados a exponer productos al público (zonas expositivas), las correspondientes al alumbrado de emergencia o a la iluminación de las unidades de uso residencial privado.

Se expresa en W/m² por cada 100 lux y se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$VEEI = 100 \cdot P / (S \cdot E_m)$$

- P: es la potencia de la lámpara más el equipo auxiliar [W];
- S: es la superficie iluminada [m²];
- E_m: es la iluminancia media horizontal mantenida [lux].

4.3.4.2 Potencia instalada

La potencia total de lámparas y equipos auxiliares por superficie iluminada (P_{TOT} / S_{TOT}) no superará el valor máximo establecido en la Tabla 3.2-HE3.

Uso	E Iluminancia media en el plano horizontal (lux)	Potencia máxima a instalar (W/m ²)
Aparcamiento		5
Otros usos	≤ 600	10
	> 600	25

Imagen 4.16 (CTE-HE 2019): **Tabla 3.2 - HE3. Potencia máxima por superficie iluminada ($P_{TOT,lim}/S_{TOT}$).**

4.3.4.3 Sistema de control y regulación

Las instalaciones de iluminación de cada zona dispondrán de un sistema de control y regulación que incluya:

- Un sistema de encendido y apagado manual externo al cuadro eléctrico.
- Un sistema de encendidos por horario centralizado en cada cuadro eléctrico.

En zonas de uso esporádico (aseos, pasillos, escaleras, zonas de tránsito, aparcamientos, etc.) el sistema del apartado b) se podrá sustituir por una de las dos siguientes opciones:

- Un control de encendido y apagado por sistema de detección de presencia temporizado.
- Un sistema de pulsador temporizado.

4.3.4.4 Sistema de aprovechamiento de la luz natural

Se instalarán sistemas de aprovechamiento de la luz natural que regulen automáticamente y de forma proporcional el aporte de luz natural, el nivel de iluminación de las luminarias situadas a menos de 5 metros de una ventana y de las situadas bajo un lucernario, cuando se cumpla la expresión $T(A_w / A) > 0,11$ junto con alguna de las condiciones siguientes:

- Zonas con cerramientos acristalados al exterior donde el ángulo θ sea superior a 65 grados ($\theta > 65^\circ$):

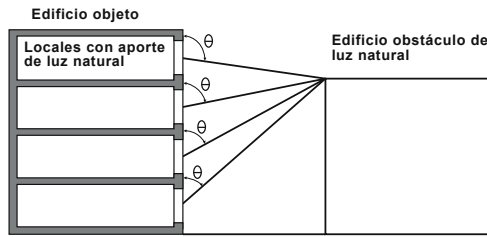


Imagen 4.17 (CTE-HE 2019): Figura 3.4 a - HE3.

- Zonas con cerramientos acristalados dando a patios o atrios descubiertos que tengan una anchura superior a dos veces la distancia entre el suelo de la planta de la zona en estudio y la cubierta del edificio: $a_i > 2 h_i$:

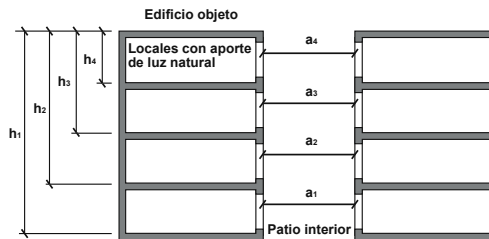


Imagen 4.18 (CTE-HE 2019): Figura 3.4 b - HE3.

- Zonas con cerramientos acristalados a patios o atrios cubiertos por acristalamientos donde la anchura del atrio en esa zona sea superior a $2/T_c$ veces la distancia H_i ($a_i > 2 \cdot h_i / T_c$):

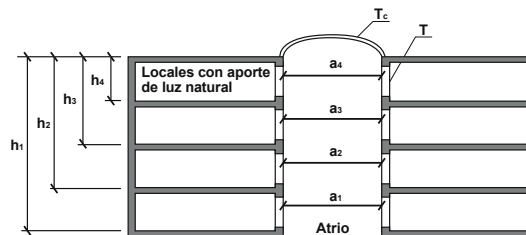


Imagen 4.19 (CTE-HE 2019): Figura 3.4 c - HE3.

- T : el coeficiente de transmisión luminosa del vidrio de la ventana del local en tanto por uno;
- A_w : el área de acristalamiento de la ventana de la zona [m^2];
- A : el área total de las fachadas de la zona, con ventanas al exterior o al patio interior o al atrio [m^2], cuando se trate de zonas con cerramientos acristalados al exterior, o bien el área total de las superficies interiores del local (suelo + techo + paredes + ventanas) [m^2], cuando se trate de zonas con cerramientos acristalados a patios o atrios;
- θ : el ángulo desde el punto medio del acristalamiento hasta la cota máxima del edificio obstáculo [grados sexagesimales];
- a_i : el ancho del patio o atrio a la altura de la zona [m];
- h_i : la distancia entre el suelo de la zona en estudio y la cubierta del edificio [m];
- T_c : el coeficiente de transmisión luminosa del vidrio de cerramiento del patio, expresado en %.

4.4.- CONTRIBUCIÓN MÍNIMA DE ENERGÍA RENOVABLE PARA CUBRIR LA DEMANDA DE AGUA CALIENTE SANITARIA (HE-4)

4.4.1 Ámbito de aplicación

- a) Edificios de nueva construcción con una demanda de agua caliente sanitaria (ACS) superior a 100 l/d, calculada de acuerdo al Anejo F del CTE-HE.
- b) Edificios existentes con una demanda de agua caliente sanitaria (ACS) superior a 100 l/d, calculada de acuerdo al Anejo F del CTE-HE, en los que se reforme íntegramente el edificio en sí o la instalación térmica, o en los que se produzca un cambio de uso característico del mismo.
- c) Ampliaciones o intervenciones, no cubiertas en el punto anterior, en edificios existentes con una demanda inicial de ACS superior a 5.000 l/día, que supongan un incremento superior al 50 % de la demanda inicial.
- d) Climatizaciones de: piscinas cubiertas nuevas, piscinas cubiertas existentes en las que se renueve la instalación térmica o piscinas descubiertas existentes que pasen a ser cubiertas.

Podemos observar cómo se ha aumentado la exclusión de edificios de nueva construcción en lo referente a la demanda de agua caliente sanitaria, en la normativa anterior HE-2013, el límite era 50 l/d, y con la HE-2019 se ha pasado a 100 l/d.

4.4.2 Cuantificación de la exigencia. Contribución renovable mínima para ACS y/o climatización de piscina

1. La contribución mínima de energía procedente de fuentes renovables cubrirá al menos el **70 % de la demanda** energética anual para ACS y **para climatización de piscina**, obtenida a partir de los valores mensuales, e incluyendo las pérdidas térmicas por distribución, acumulación y recirculación. **Esta contribución mínima podrá reducirse al 60 % cuando la demanda de ACS sea inferior a 5.000 l/d.**

Se considerará únicamente la aportación renovable de la energía con origen in situ o en las proximidades del edificio, o procedente de biomasa sólida.

2. En el caso de ampliaciones e intervenciones en edificios existentes, contemplados en el ámbito de aplicación, la contribución renovable mínima se establece sobre el incremento de la demanda de ACS respecto a la demanda inicial.
3. Las fuentes renovables que satisfagan la contribución renovable mínima de ACS y/o climatización de piscina, pueden estar integradas en la propia generación térmica del edificio o ser accesibles a través de la conexión a un *sistema urbano de calefacción*.
4. Las bombas de calor destinadas a la producción de ACS y/o climatización de piscina, para poder ser consideradas como renovables a efectos de esta sección, deberán disponer de un valor de **rendimiento medio estacional (SCOP_{dhw}) superior a 2,5** cuando sean accionadas eléctricamente y superior a 1,15 cuando sean accionadas mediante energía térmica. El valor de SCOP_{dhw} se determinará para la temperatura de preparación del ACS, que no será inferior a 45°C.

En una bomba de calor no toda la energía generada por esta bomba se puede considerar como energía renovable. La directiva de energías renovables (2009/28/CE) establece la manera de cuantificar dicha energía.

$$E_{RES} = Q_{usable} * (1 - 1/SCOP)$$

- Q_{usable} : Calor útil total estimado proporcionado por la bomba de calor;
- SCOP: Rendimiento medio estacional.

En cambio, en instalaciones como las de energía solar térmica o biomasa el 100 % de la energía generada debe considerarse como energía renovable.

4.4.3 Métodos de justificación de la utilización de bombas de calor para producción de ACS

Para poder justificar la utilización de bombas de calor para producción de ACS hay que cumplir dos condiciones:

$SCOP_{dhw}$	> 2,5	
E_{RES}	Demanda < 5.000 l/d	60 %
	Demanda > 5.000 l/d	70 %

Los fabricantes de bombas de calor para producción de ACS deben de justificar el $SCOP_{dhw}$, mediante:

Métodos de justificación	
$SCOP_{dhw}$	Norma UNE EN 16147:2017.
	Reglamentos delegados UE n.º 811/2013 y n.º 812/2013 de 18 de febrero.
	A través del procedimiento detallado en el documento «Prestaciones medias estacionales de las bombas de calor para producción de calor en edificios» publicado por el Ministerio de Industria, Energía y Turismo a través del Instituto para la Diversificación y el Ahorro de la Energía.

- La justificación mediante la norma UNE EN 16147:2017 se debe de realizar mediante un documento emitido por el fabricante donde se justifique el $SCOP_{DHW}$, ensayado mediante la norma UNE EN 16147:2017.
- Para poder realizar la justificación mediante Reglamentos delegados UE n.º 811/2013 y n.º 812/2013 de 18 de febrero. En la ficha de la bomba de calor vendrán reflejados los valores η_{wh} , AEC y Q_{elect} , según el anexo V del Reglamento UE n.º 811/2013 y del Reglamento UE n.º 812/2013.

El $SCOP_{DHW}$ se puede calcular:

$$SCOP_{DHW} = \eta_{wh} \times AEC \times CC / (0,6 \times 366 \times Q_{elect})$$

- η_{wh} : eficiencia energética estacional del caldeo de agua (%) en términos de energía primaria;
- AEC: consumo de electricidad anual de un calentador de agua con el perfil de carga declarado y en determinadas condiciones climáticas, expresado en kWh de energía final;
- Q_{elect} : consumo de electricidad a lo largo de 24 horas consecutivas con el perfil de carga declarado y en determinadas condiciones climáticas, expresado en kWh de energía final;
- CC: Coeficiente que refleja la eficiencia estimada de la generación media de la UE del 40% contemplado en la Directiva 2012/27/UE del Parlamento Europeo y del Consejo (valor del coeficiente de conversión es $CC = 2,5$).

En el caso de que el fabricante no facilite el $SCOP_{DHW}$, mediante ensayo UNE EN 16147:2017, o los valores η_{wh} , AEC y Q_{elect} , según el anexo V del Reglamento UE n.º 811/2013 y del Reglamento UE n.º 812/2013, se podrá calcular el $SCOP_{DHW}$ con el procedimiento detallado en el documento «Prestaciones medias estacionales de las bombas de calor para producción de calor en edificios» publicado por el Actualizado noviembre 2019 Página 4 de 16 Ministerio de Industria.

Como hemos comentado en el apartado anterior, se debe comprobar qué porcentaje de la energía generada por la bomba de calor se puede considerar como renovable, puesto que para demandas de ACS inferiores de 5.000 l/d el porcentaje será del 60% y para demandas superiores a 5.000 l/d el porcentaje será del 70%.

Para ello, debemos de aplicar la siguiente fórmula según la directiva de energías renovables 2009/28/CE:

$$E_{RES} = Q_{Usable} \cdot (1 - 1/SCOP)$$

- Q_{Usable} : Calor útil total estimado proporcionado por la bomba de calor; esta es la energía necesaria para cubrir la demanda de ACS y se puede calcular aplicando la siguiente fórmula:

$$\text{Demanda energética} = \frac{365 \times d \times D_{acs} \times C_p \times (T_{acs} - T_{red})}{3600}$$

- d : densidad del agua = 1kg/litro;
- D_{acs} : Demanda de ACS;
- C_p : Calor específico del agua = 4,18 Kj/Kg k;
- T_{acs} : Temperatura de producción del ACS;
- T_{red} : Temperatura media anual del agua fría de la red;
- SCOP: Rendimiento medio estacional.

La contribución renovable mínima para ACS y/o climatización de piscinas cubiertas podrá sustituirse parcial o totalmente por energía residual procedente de equipos de refrigeración, de deshumectadoras y del calor residual de combustión del motor de bombas de calor accionadas térmicamente, siempre y cuando el aprovechamiento de esta energía residual sea efectiva y útil para el ACS. Únicamente se tomará en consideración la energía obtenida por la instalación de recuperadores de calor ajenos a la propia instalación térmica del edificio. En el caso de recuperación de energía residual procedente de equipos de refrigeración en edificios residenciales no se podrá contabilizar un aprovechamiento de energía superior al 20% de la extraída.

4.4.4 Sistema de medida de energía suministrada

Los sistemas de medida de la energía suministrada procedente de fuentes renovables se adecuarán al vigente Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE).

4.4.5 Cálculo de referencia de ACS

La demanda de referencia de ACS para edificios de uso residencial privado se obtendrá considerando unas necesidades de 28 litros/día-persona (a 60°C), una ocupación al menos igual a la mínima establecida en la tabla a-Anejo F y, en el caso de viviendas multifamiliares, un factor de centralización de acuerdo a la tabla b-Anejo F, incrementadas de acuerdo con las pérdidas térmicas por distribución, acumulación y recirculación.

Valores mínimos de ocupación de cálculo en uso residencial privado.

Número de dormitorios	1	2	3	4	5	6	≥6
Número de personas	1,5	3	4	5	6	6	7

Valor del factor de centralización en viviendas multifamiliares.

N.º viviendas	N≤3	4≤N≤10	11≤N≤20	21≤N≤50	51≤N≤75	76≤N≤100	N≥101
Factor de centralización	1	0,95	0,90	0,85	0,80	0,75	0,70

Imagen 4.20 (CTE-HE 2019): Tabla a y b - Anejo F.

Para el cálculo de la demanda de referencia de ACS para edificios de uso distinto al residencial privado, se consideran como aceptables los valores de la tabla c-Anejo F que recoge valores orientativos de la demanda de ACS para usos distintos del residencial privado, a la temperatura de referencia de 60°C, que serán incrementados de acuerdo con las pérdidas térmicas por distribución, acumulación y recirculación. La demanda de referencia de ACS para casos no incluidos en la tabla c-Anejo F se obtendrá a partir de necesidades de ACS contrastadas por la experiencia o recogidas por fuentes de reconocida solvencia.

Criterio de demanda	Litros/ día-persona
Hospitales y clínicas	55
Ambulatorio y centro de salud	41
Hotel *****	69
Hotel ****	55
Hotel ***	41
Hotel/hostal **	34
Camping	21
Hostal/pensión *	28
Residencia	41
Centro penitenciario	28
Albergue	24
Vestuarios/Duchas colectivas	21
Escuela sin ducha	4
Escuela con ducha	21
Cuarteles	28
Fábricas y talleres	21
Oficinas	2
Gimnasios	21
Restaurantes	8
Cafeterías	1

Imagen 4.21 (CTE-HE 2019): Tabla c - anejo F. Demanda orientativa de ACS para usos distintos del residencial privado.

El consumo de ACS a una temperatura (T) de preparación, distribución o uso, distinta de la de referencia (60°C), se puede obtener a partir del consumo de ACS a la temperatura de referencia usando las siguientes expresiones:

$$D(T) = \sum_{i=1}^{12} D_i(T)$$

$$D_i(T) = D_i(60^\circ\text{C}) \frac{60-T_i}{T-T_i}$$

- D(T): Demanda de agua caliente sanitaria anual a la temperatura T elegida;
- D_i(T): Demanda de agua caliente sanitaria para el mes i, a la temperatura T elegida;
- D_i(60° C): Demanda de agua caliente sanitaria para el mes i, a la temperatura de 60° C;
- T: Temperatura del acumulador final;
- T_i: Temperatura media del agua fría en el mes i (según Anejo G del CTE).

4.5.- GENERACIÓN MÍNIMA DE ENERGÍA ELÉCTRICA (HE-5)

4.5.1 Ámbito de aplicación

1. Esta sección es de aplicación a edificios con uso distinto al residencial privado en los siguientes casos:

- Edificios de nueva construcción y ampliaciones de edificios existentes, cuando superen o incrementen la superficie construida en más de 3.000 m².
- Edificios existentes que se reformen íntegramente, o en los que se produzca un cambio de uso característico del mismo, cuando se superen los 3.000 m² de superficie construida.

Se considerará que la superficie construida incluye la superficie del aparcamiento subterráneo (si existe) y excluye las zonas exteriores comunes.

2. En aquellos edificios en los que, por razones urbanísticas o arquitectónicas, o porque se trate de edificios protegidos oficialmente, siendo la autoridad que dicta la protección oficial quien determina los elementos inalterables, no se pueda instalar toda la potencia exigida, se deberá justificar esta imposibilidad analizando las distintas alternativas y se adoptará la solución que más se aproxime a las condiciones de máxima producción.

4.5.2 Cuantificación de la exigencia

1. La *potencia a instalar* mínima P_{\min} se obtendrá a partir de la siguiente expresión:

$$P_{\min} = 0,01 \cdot S$$

Sin superar el valor de la siguiente expresión:

$$P_{\lim} = 0,05 \cdot S_C$$

- P_{\min} , P_{\lim} : *potencia a instalar* [kW];
- S : superficie construida del edificio [m²];
- S_C : superficie construida de cubierta del edificio [m²].

2. La potencia obligatoria a instalar, en todo caso, no será inferior a 30 kW ni superará los 100 kW.

CAPÍTULO 5.º

RECOMENDACIONES
PRÁCTICAS PARA EL
EJERCICIO PROFESIONAL



CAPÍTULO 5.º Recomendaciones prácticas para el ejercicio profesional

A modo de último capítulo, previo a los ejemplos prácticos, se aportan una serie de recomendaciones concretas fruto de la experiencia práctica de los autores, con miras a facilitar el ejercicio profesional.

5.1.- Estrategias previas necesarias. Recomendaciones para el anteproyecto

Debe entenderse que cualquier ejercicio de aproximación al comportamiento energético existente o futuro de una edificación en cualquier tipo de proyecto (obra nueva, rehabilitación, adecuación, etc.) siempre va a tratar de ser una aproximación fiel a la realidad.

Dicha aproximación deberá ser suficiente y eficiente, es decir, lo suficientemente desarrollada para evidenciar, en su caso, las posibles carencias con respecto a los mínimos normativos vigentes y predecir, en todo caso, un comportamiento futuro de la edificación, totalmente acorde cuando menos a estos mínimos exigibles.

Todo ello con el mayor grado de economía de medios técnicos y guardando una posición austera en el desarrollo técnico de los modelos energéticos de referencia, que permita al equipo de diseño la agilidad suficiente para dar respuesta a los cambios habituales de todo proyecto de edificación.

Debe entenderse en todo momento que las exigencias normativas de referencia en esta materia, aun dando la apariencia de estar velando por una cuestión monotemática de conservación de la energía, realmente están tratando una cuestión higrotérmica de más largo alcance.

Un claro ejemplo de esto último es la evidencia de cómo, en las sucesivas versiones del DB de ahorro de energía, el grado de exigencia en control de los puentes térmicos adquiere más peso específico, puesto que es en dichos puntos singulares en donde puede adquirir total relevancia un mal diseño, propiciando problemas de comportamiento futuro que con seguridad derivarán en posibles patologías con muy mal pronóstico.

Sin dejar de lado lo anterior, velar por la conservación de la energía conlleva una cuestión de índole económica ya que, independientemente de la zona climática de la que se trate, una incorrecta predicción a futuro de las capacidades de la edificación de referencia conllevará un perjuicio económico para sus usuarios.

Nunca deberá dejarse de lado la cuestión del confort y la salud, ya que un buen diseño auxiliado por una buena ejecución material velará por el bienestar de los usuarios.

En uno de los puntos anteriores se ha comentado la importancia de la cuestión higrotérmica, evidentemente velando por la integridad del edificio, evitando patologías posibles y derivadas de la aparición de humedades de condensación, intersticiales y / o superficiales, pero nunca habrá que perder de vista que dichas patologías crean el caldo de cultivo idóneo para la proliferación de mohos, hongos y otras bacterias los cuales pueden afectar directamente a la salud de los usuarios y ocupantes durante toda la vida útil de la edificación.

Relacionado directamente con este punto está la necesaria participación de la ventilación suficiente y eficiente y de la luz natural, cada día más necesaria en cualquier circunstancia a medida que se incrementan las exigencias normativas en materia de eficiencia energética.

La última recomendación general, pero quizá la más importante y con capacidad para afectar a todas las anteriores, es velar por la sencillez de todas las soluciones que se tomen sobre el papel, ya que, de no apostar por esta máxima, nos encontraremos con problemas durante todo el proceso constructivo que inevitablemente se reflejarán en el resultado final.

5.2.- Recomendaciones para modelizar energéticamente un edificio nuevo / existente

Antes de comenzar cualquier proceso de modelización energética con el software que se precise, resulta muy conveniente llevar a cabo un ejercicio de simplificación y análisis (pre-modelado) para aportar al equipo de diseño unos primeros valores de referencia.

Para ello, podrá utilizarse la experiencia previa de los técnicos que intervengan con el apoyo de software suficiente y adecuado del tipo Sefaira, ph Design (software comercial), SG SAVE, etc.



Imagen 5.1: Pre-modelado energético (fuente: los autores). Software: SG SAVE – Efinovatic.

5.3.- Recomendaciones para la comprobación y resolución de los puentes térmicos

La exigencia de la normativa actual pone su punto de mira en el adecuado desarrollo de los detalles constructivos para mitigar e incluso eliminar la presencia de puentes térmicos. Un mal estudio previo de los mismos se traduce en pérdidas energéticas notables y será la causa de la aparición de condensaciones, humedades y otras patologías nocivas para el adecuado funcionamiento, uso y mantenimiento de la edificación.

A consecuencia de lo anterior, la experiencia práctica aconseja la toma en consideración de los puentes térmicos para su comprobación y resolución desde las fases preliminares de diseño y desarrollo de las soluciones constructivas que se consideren para el proyecto en cuestión.

Actualmente, en la mayoría de bibliografía especializada, como suele tratarse el tema de los puentes térmicos de forma bidimensional, es decir, estudiando el comportamiento térmico de los mismos en el mismo plano de corte del flujo energético que se esté estudiando.

Aislamiento interrumpido por el pilar

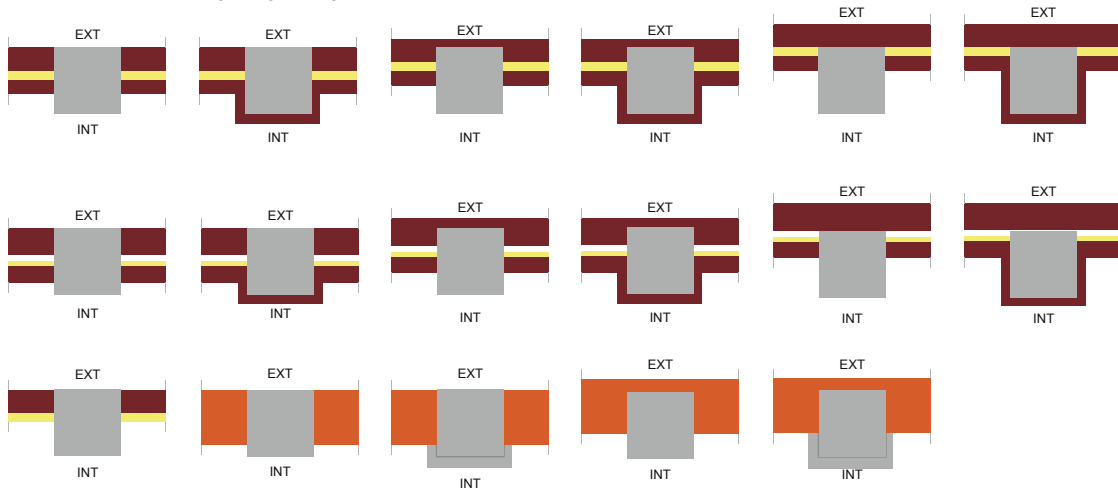


Imagen 5.2. Puentes térmicos de pilares (fuente: DA DB-HE / 3).

Esto último no deja de ser correcto para una simulación energética adecuada y suficiente, aunque se aconseja que siempre se tome en consideración que el comportamiento de los puentes térmicos es un fenómeno tridimensional con todas sus consecuencias.

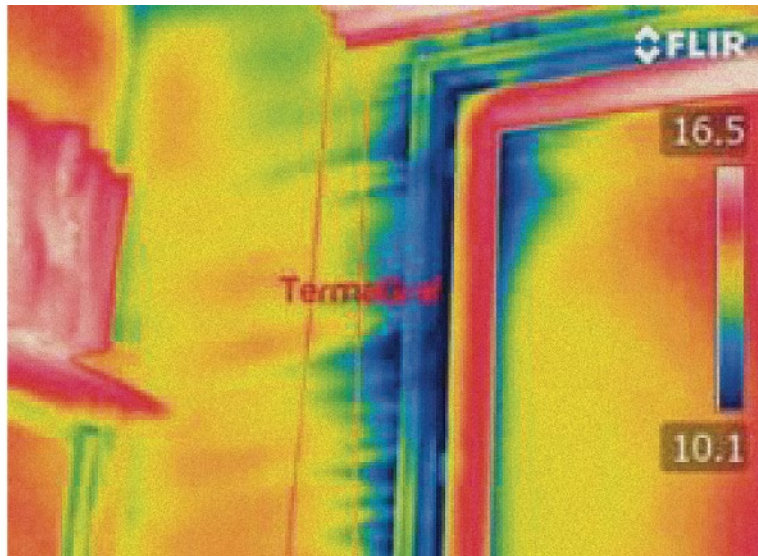


Imagen 5.3: Imagen termográfica de puente térmico (fuente: Termagraf).

5.4.- Recomendaciones para el análisis y estudio del riesgo de condensaciones

La ausencia de puentes térmicos, un correcto cálculo de espesores aislantes, así como la adecuada disposición de estos y de las barreras de vapor, en su caso, será garantía de la mitigación del riesgo de condensaciones intersticiales y superficiales en el elemento constructivo en cuestión.

De forma genérica y para la nueva construcción, puede establecerse el criterio de aumentar progresivamente el grado de permeabilidad al vapor desde las capas internas a las más externas en el elemento constructivo objeto de estudio, facilitando de este modo la eliminación de posibles cúmulos intersticiales de humedad hacia el medio exterior, a priori menos saturado de humedad que el medio interior de la edificación.

Téngase en cuenta siempre que toda norma genérica no tiene por qué ser de obligado cumplimiento en todo caso, ya que dependerá del tipo de intervención (obra nueva, rehabilitación, etc.) así como de las circunstancias climáticas concretas del emplazamiento del estudio.

A consecuencia de lo anterior, deberá estudiarse a conciencia el comportamiento de un elemento constructivo sometido a solicitaciones higrotérmicas cambiantes en el tiempo que se prevea se puedan dar o, tomar en consideración los valores más desfavorables de entre los probables en los cálculos de comprobación de condensaciones ya obligados por la normativa, así como las consecuencias derivadas y acciones correctoras posibles.

Para lo anterior, ya se dispone de software de cálculo dinámico, de mayor alcance y aproximación a la realidad que el habitual cálculo o «comprobación estática» que indica la normativa. Con su empleo, el técnico responsable podrá evaluar riesgos y acometer la búsqueda de soluciones de la forma más optimizada posible.

6.- Representación gráfica de las condensaciones intersticiales previstas.

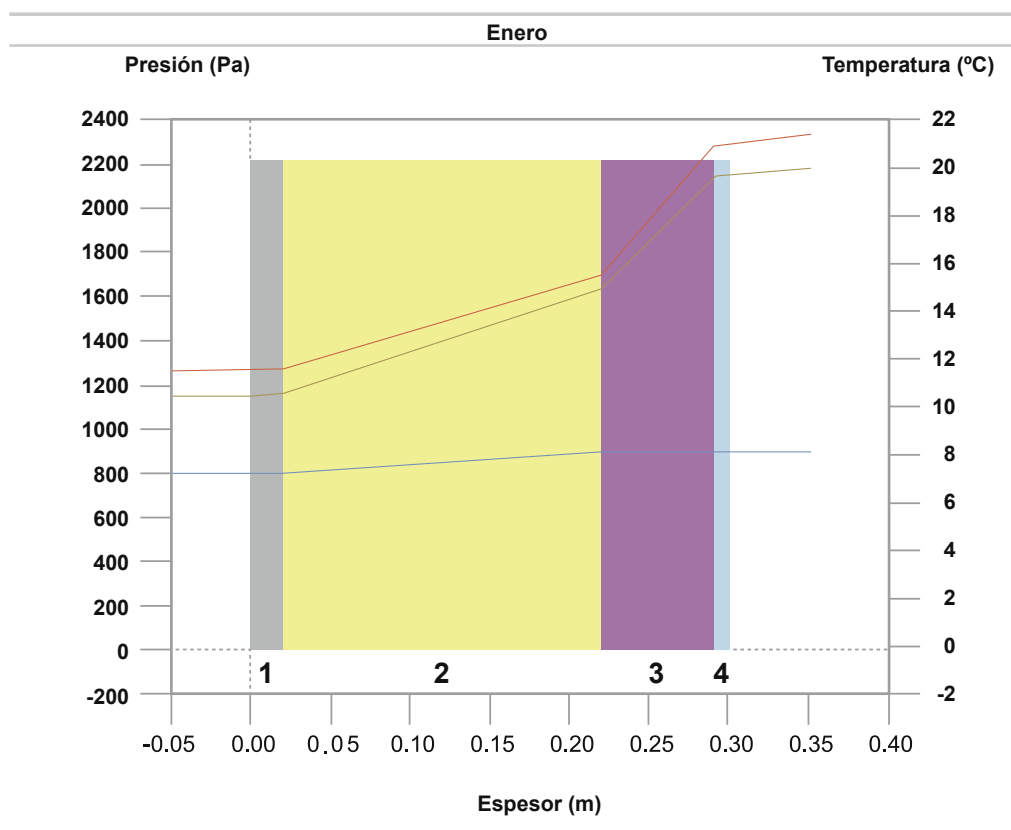


Imagen 5.4: Estudio de condensaciones intersticiales (fuente: los autores). Software: Cype Ingenieros.

Siguiendo el discurso de lo ya comentado para los puentes térmicos, del mismo modo deberá tomarse en consideración que el comportamiento higrotérmico de un elemento constructivo es un fenómeno tridimensional, no limitado en su estudio y aproximación a la realidad final al plano de corte en cuestión.



Imagen 5.5: Patología a consecuencia de puente térmico (fuente: los autores).

De todo lo anterior resulta más sencillo resolver con garantías la cuestión si, en la intervención de que se esté tratando, se ha tomado en consideración la instalación de un sistema de ventilación con capacidad para mantener de forma continuada en el tiempo las hipótesis higrotérmicas estudiadas.

No cabe duda de que la cuestión higro-térmica es una de las de mayor trascendencia tanto para la integridad y durabilidad de la edificación como para la salud de sus ocupantes, puesto que la presencia de mohos y hongos en puntos singulares suele ser una de los primeros motivos de reclamación de los usuarios y, a su vez, de más compleja y costosa solución.

5.5.- Recomendaciones generales para la propuesta de soluciones constructivas

Tener la suficiente conciencia del carácter tridimensional de las decisiones constructivas y consecuencias de estas ha sido uno de los argumentos con más peso en los puntos anteriores. A consecuencia de esto, el técnico responsable deberá tomar en consideración una regla fundamental a respetar en todo caso:

La continuidad de las diferentes soluciones debe ser una máxima.

En alta eficiencia energética, el incumplimiento de la anterior norma conllevará casi por supuesto un alto riesgo de condensaciones y patologías derivadas o, en el mejor de los casos, un puente térmico con todas sus consecuencias posibles.

Otra norma no escrita hasta el momento, pero que la práctica en el ejercicio profesional especializado aconseja, es la sencillez.

Disponer soluciones con un grado de heterogeneidad elevado tanto en sus materiales como en sus composiciones elevará el riesgo de no haber previsto suficientemente las posibles consecuencias higro-térmicas de su empleo, por lo que se recomienda el empleo de soluciones suficientemente capaces de simular el comportamiento en las tres dimensiones del espacio.

Dicha sencillez se deberá extrapolar necesariamente al plano práctico de la puesta en obra donde, lógicamente, las soluciones menos complejas tendrán plenas garantías de valorarse adecuadamente y albergar las mayores seguridades de una adecuada ejecución material, tanto en el plano económico como en el del control de la calidad final de lo ejecutado.

El grado de complejidad de las soluciones constructivas escogidas, así como de sus puntos singulares, deberá ser lo más acorde posible a la capacidad tecnológica de las empresas o profesionales que se prevea vayan a participar en la ejecución material de las obras.

5.6.- Recomendaciones para el control de calidad final de obra: el Blower Door

La última revisión de la normativa en materia de eficiencia energética en la edificación (diciembre 2019) nos propone dos métodos para cuantificar el volumen de infiltraciones de aire no deseadas en el edificio, uno numérico y otro práctico. El numérico se basa en la aplicación de una fórmula que confía su validez al ensayo aportado por el fabricante de las ventanas, puertas y otros huecos de exterior y en únicamente dos posibles valores de referencia para el parámetro que evalúa el grado de estanqueidad al aire de la parte opaca de las edificaciones. Estos se asignan, como se puede comprobar en la imagen 5.6, simplemente a criterio de si la intervención constructiva es existente o de nueva construcción.

2 Determinación mediante valores de referencia

- 2 El valor de la relación del cambio de aire a 50 Pa, n_{50} , puede calcularse, a partir de la siguiente expresión:

$$n_{50} = 0,629 \cdot (C_o \cdot A_o + C_h \cdot A_h) / V$$

donde:

- n_{50} es el valor de la relación del cambio de aire a 50 Pa;
- V es el volumen interno de la envolvente térmica, en [m³];
- C_o es el coeficiente de caudal de aire de la parte opaca de la envolvente térmica, expresada a 100 Pa, en [m³/hm²], obtenido de la tabla a-Anejo H;
- A_o es la superficie de la parte opaca de la envolvente térmica, en [m²];
- C_h es la permeabilidad de los huecos de la envolvente térmica, expresada a 100 Pa, en [m³/hm²], según su valor de ensayo;
- A_h es la superficie de los huecos de la envolvente térmica, en [m²].

Tabla a-Anejo H. Valores de referencia del coeficiente de caudal de aire para la parte opaca de la envolvente térmica, C_o [m³/h·m²] (100 Pa).

Tipo de edificio	C_o
Nuevo o existente con permeabilidad mejorada	16
Existente	29

Imagen 5.6. Determinación valores de referencia (fuente: DB HE).

Aunque entendiendo como necesario el anterior método numérico, y dando por supuesto que la actual normativa no prescribe como de obligado cumplimiento el empleo del ensayo de estanqueidad comúnmente conocido como «Blower Door Test», recogido en la norma UNE-EN ISO 9972:2019, bajo el punto de vista de los autores de esta guía, el empleo del mismo se hace muy recomendable por los motivos que se exponen a continuación:

Quizá como punto de partida para intervenciones de nueva ejecución sí sea interesante la obtención de valores orientativos mediante el empleo de fórmulas, pero las mismas nunca serán suficientes para una aproximación a la realidad.

La experiencia práctica acumulada en España y en los países con larga experiencia en el empleo de este ensayo no destructivo, demuestra cómo los valores obtenidos en los ensayos de campo superan notablemente los límites ya impuestos por la normativa.

Caso destacable es la de intervención en edificios existentes donde la falta de estanqueidad hace inviable la puesta en práctica de fórmulas teóricas.

Se puede concluir que en edificios existentes el ensayo Blower Door Test, entendido como un ensayo no destructivo más, tiene una capacidad de alcance que va mucho más allá de aportarnos un número de renovaciones hora o coeficiente de permeabilidad. Este ensayo es pieza clave para poder evidenciar las problemáticas directas y derivadas de la falta de estanqueidad y para localizar fielmente las mismas en el espacio. El ensayo es capaz de detectar, por sí solo o con el auxilio de otras técnicas, aquellos puntos singulares en los que se deberá intervenir para solucionar el /los problema/s de la manera más eficiente.



Imagen 5.7: Búsqueda de infiltraciones (fuente: Termagraf).

En definitiva, se muestra como un ensayo no destructivo con capacidades más que recomendables para el control de ejecución de la calidad de la obra ejecutada, con total implicación con el grado de exigencia en materia de eficiencia energética, y a modo de punto de partida imprescindible para intervenciones en edificaciones existentes.

Por último, hay que subrayar que, aunque parezca una obviedad, se hace totalmente imprescindible la puesta en práctica de este ensayo por personal o empresas especializadas para su realización, con las suficientes garantías de independencia y criterio técnico. Esto último será lo que nos dé la solución imparcial más certera en cada caso.

PARTE 3

EJEMPLOS PRÁCTICOS



CAPÍTULO 6.º

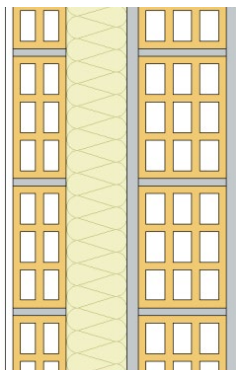
EJEMPLOS PRÁCTICOS
DE DESARROLLO DE
NORMATIVA ESPECÍFICA



CAPÍTULO 6.º Ejemplos prácticos de desarrollo de normativa específica

6.1.- Ejemplos de parámetros característicos de la envolvente térmica

6.1.1 Calcular la transmitancia térmica del siguiente cerramiento de fachada



1. Enlucido y guarnecido de yeso = 1,50 cm	$\lambda = 0,570 \text{ W/m k}$
2. Fábrica de ladrillo hueco = 7 cm	$\lambda = 0,432 \text{ W/m k}$
3. Lana mineral = 8 cm	$\lambda = 0,041 \text{ W/m k}$
4. Enfoscado de mortero de cemento = 1,50 cm	$\lambda = 1,800 \text{ W/m k}$
5. Fábrica de ladrillo panal = 11,50 cm	$\lambda = 0,512 \text{ W/m k}$
6. Enfoscado de mortero de cemento = 1,50 cm	$\lambda = 1,800 \text{ W/m k}$

$$R_{si} = 0,13 \text{ m}^2 \text{ k/W}$$

$$R1 = 0,015/0,570 = 0,026 \text{ m}^2 \text{ k/W}$$

$$R2 = 0,070/0,432 = 0,162 \text{ m}^2 \text{ k/W}$$

$$R3 = 0,080/0,041 = 1,951 \text{ m}^2 \text{ k/W}$$

$$R4 = 0,015/1,800 = 0,008 \text{ m}^2 \text{ k/W}$$

$$R5 = 0,115/0,512 = 0,225 \text{ m}^2 \text{ k/W}$$

$$R6 = 0,015/1,800 = 0,008 \text{ m}^2 \text{ k/W}$$

$$R_{se} = 0,04 \text{ m}^2 \text{ k/W}$$

$$R_t = 2,55 \text{ m}^2 \text{ k/W}$$

La transmitancia térmica es: $U = 1/2,55 = 0,392 \text{ W/m}^2\text{k}$.

6.1.2 Calcular la transmitancia térmica de una solera de 10x15 m, apoyada sobre el nivel del terreno, con una banda de aislamiento de 1 m por todo su perímetro, de 6 cm de espesor y una $\lambda = 0,034 \text{ W/m}^2 \text{ k}$

$$R_{xps} = 0,06/0,034 = 1,76$$

$$B' = (10 \times 15) / \frac{1}{2} \times 50 = \frac{150}{25} = 6$$

La U_s de la solera se encuentra según la tabla, entre 0.48 y 0.46 $\text{W/m}^2 \text{ K}$. Por tanto, tendríamos que realizar una interpolación lineal:

$$\frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} = \frac{a}{x_2 - x_1}$$

$$\frac{0,48 - 0,46}{2,00 - 1,50} = \frac{a}{2,00 - 1,76}$$

$$a = 0,01$$

Luego la transmitancia térmica de la solera es $U_s = 0,47 \text{ W/m}^2 \text{ k}$.

6.1.3 Calcular la transmitancia térmica de una solera de 10x15 m, apoyada sobre el nivel del terreno, con un aislamiento en toda la superficie de 4 cm de espesor y una $\lambda = 0,034 \text{ W/m}^2 \text{ K}$. a 2,50 m de profundidad

$$R_{solera} = 0,20/2,30 = 0,087 \text{ m}^2 \text{ k/W}$$

$$R_{xps} = 0,04/0,034 = 1,176 \text{ m}^2 \text{ k/W}$$

$$R_T = 0,087 + 1,176 = 1,263 \text{ m}^2 \text{ k/W}$$

$$B' = (10 \times 15) / \frac{1}{2} \times 50 = \frac{150}{25} = 6$$

La U_s de la solera se encuentra según la tabla, entre 0.31 y 0.28 $\text{W/m}^2 \text{ K}$. Por tanto, tendríamos que realizar una interpolación lineal:

$$\frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} = \frac{a}{x_2 - x_1}$$

$$\frac{0,31 - 0,28}{1,50 - 1,00} = \frac{a}{1,50 - 1,263}$$

$$a = 0,014$$

Luego la transmitancia térmica de la solera es $U_s = 0,294 \text{ W/m}^2 \text{ k}$.

6.1.4 Muro de contención de hormigón armado de 25 cm de espesor con un trasdosado de PYL 48/15 con MW, con una parte enterrada de 2,00

$$R_{hor} = 0,250/2,30 = 0,109 \text{ m}^2 \text{ k/W}$$

$$R_{mw} = 0,050/0,04 = 1,250 \text{ m}^2 \text{ k/W}$$

$$R_{pyl} = 0,015/0,25 = 0,060 \text{ m}^2 \text{ k/W}$$

$$R_m = R_{hor} + R_{xps} + R_{pyl} = 0,109 + 1,250 + 0,060 = 1,419 \text{ m}^2 \text{ k/W}$$

La U_s de la solera se encuentra según la tabla, entre 0,44 y 0,42 W/m² K. Por tanto, tendríamos que realizar una interpolación lineal:

$$\frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} = \frac{a}{x_2 - x_1}$$

$$\frac{0,44 - 0,42}{1,50 - 1,40} = \frac{a}{1,50 - 1,419}$$

a = 0,016

Luego la transmitancia térmica de la solera es $U_s = 0,436 \text{ W/m}^2 \text{ k}$.

6.1.5 Calcular la transmitancia térmica de una cubierta enterrada, con 50 cm de tierra vegetal, un forjado con entrevigado de hormigón de 30 cm de espesor, una MW de 8 cm de espesor y una placa de PYL de 1,5 cm

1. PYL = 1,5 cm	$\lambda = 0,250 \text{ W/m k}$
2. Lana mineral = 8 cm	$\lambda = 0,041 \text{ W/m k}$
3. Forjado entrevigado de hormigón = 30 cm	$\lambda = 1,422 \text{ W/m k}$
4. Tierra vegetal = 50 cm	$\lambda = 2,000 \text{ W/m k}$

$$R_{si} = 0,10 \text{ m}^2 \text{ k/W}$$

$$R_1 = 0,015/0,250 = 0,060 \text{ m}^2 \text{ k/W}$$

$$R_2 = 0,080/0,041 = 1,951 \text{ m}^2 \text{ k/W}$$

$$R_3 = 0,300/1,422 = 0,211 \text{ m}^2 \text{ k/W}$$

$$R_4 = 0,500/2,000 = 0,250 \text{ m}^2 \text{ k/W}$$

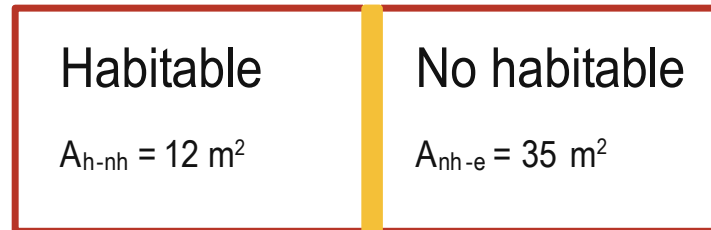
$$R_{se} = 0,04 \text{ m}^2 \text{ k/W}$$

$R_t = 2,612 \text{ m}^2 \text{ k/W}$

La transmitancia térmica es: $U = 1/2,612 = 0,383 \text{ W/m}^2 \text{ k}$.

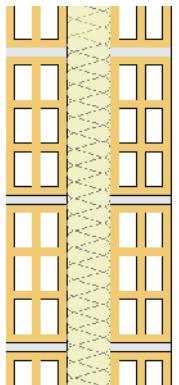
6.1.6 Calcular la transmitancia térmica de una partición interior vertical, entre un local no habitable y un local habitable. El nivel de estanqueidad del local no habitable es 4. Y la partición aislada divide el local no habitable con el habitable

Nivel de estanqueidad 4, ---- Caso 2



$$A_{h-nh} / A_{nh-e} = 12/35 = 0,34$$

No aislado_{nh-e} - Aislado_{h-nh}



1. Enlucido y guarnecido de yeso = 1,50 cm	$\lambda = 0,570 \text{ W/m k}$
2. Fábrica de ladrillo hueco = 7 cm	$\lambda = 0,432 \text{ W/m k}$
3. Lana mineral = 5 cm	$\lambda = 0,041 \text{ W/m k}$
4. Fábrica de ladrillo hueco = 7 cm	$\lambda = 0,432 \text{ W/m k}$
5. Enlucido y guarnecido de yeso = 1,50 cm	$\lambda = 0,570 \text{ W/m k}$

$$R_{sj} = 0,13 \text{ m}^2 \text{ k/W}$$

$$R1 = 0,015/0,570 = 0,026 \text{ m}^2 \text{ k/W}$$

$$R2 = 0,070/0,432 = 0,162 \text{ m}^2 \text{ k/W}$$

$$R3 = 0,050/0,041 = 1,219 \text{ m}^2 \text{ k/W}$$

$$R4 = 0,070/0,432 = 0,162 \text{ m}^2 \text{ k/W}$$

$$R5 = 0,015/0,570 = 0,026 \text{ m}^2 \text{ k/W}$$

$$R_{se} = 0,13 \text{ m}^2 \text{ k/W}$$

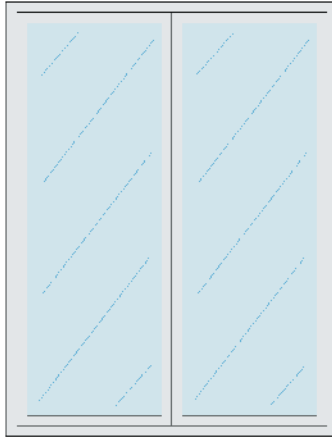
$$R_t = 1,855 \text{ m}^2 \text{ k/W}$$

La transmitancia térmica es: $U = 1/1,855 = 0,539 \text{ W/m}^2\text{k}$.

Entrando en la tabla 7 (imagen 3.13), obtenemos como resultado del coeficiente de reducción de temperatura $b = 0,99$.

Por tanto, la transmitancia térmica de la partición interior es $U = 0,539 \times 0,99 = 0,533 \text{ W/m}^2 \text{ k}$.

6.1.7 Calcular la transmitancia térmica de una ventana balconera de 1,60x2,10 m



Ventana con RPT de 24 mm

- Secciones Marco – 60 mm/Hoja-70 mm
- $U_{H,m} = 1,00 \text{ W/m}^2 \text{ K}$
- Permeabilidad al aire = Clase 4

Vidrio bajo emisivo 6+16+6 de control glass

- $U_{H,v} = 1,40 \text{ W/m}^2 \text{ K}$
- Factor solar $g = 39 \%$

$$U_H = \frac{A_{H,v}U_{H,v} + A_{H,m}U_{H,m} + l_v\psi_v + A_{H,p}U_{H,p} + l_p\psi_p}{A_{H,v} + A_{H,m} + A_{H,p}}$$

$$U_{H,v} = 1,40 \text{ W/m}^2 \text{ K.}$$

$$U_{H,m} = 1,00 \text{ W/m}^2 \text{ K.}$$

$$U_{H,p} = 0,00 \text{ W/m}^2 \text{ K.}$$

$$\Psi_v = 0,08 \text{ W/m}^2 \text{ K. (ver tabla 10)}$$

$$\Psi_p = 0,11 \text{ W/m}^2 \text{ K. (ver tabla 10)}$$

$$A_{H,v} = (1,60 - 0,06 \cdot 2 - 0,07) \cdot (2,10 - 0,06 \cdot 2) = 2,792 \text{ m}^2$$

$$A_{H,m} = (1,60 \cdot 2 \cdot 0,06) + (1,98 \cdot 2 \cdot 0,06) + (1,98 \cdot 0,07) = 0,568 \text{ m}^2$$

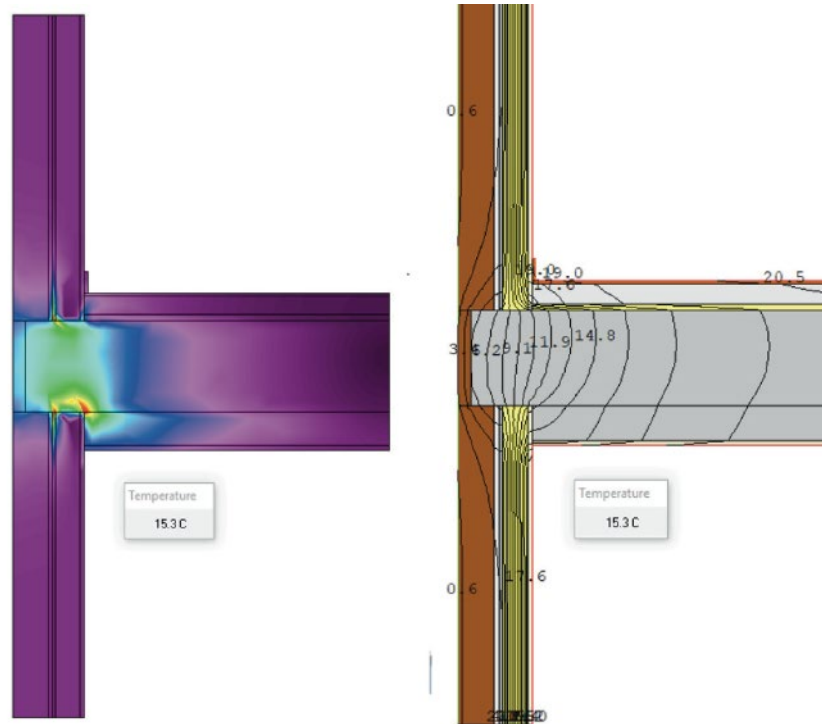
$$A_{H,p} = 0,00 \text{ m}^2$$

$$l_v = 4 \times (1,98) + 2 \times (1,41) = 10,74 \text{ m}$$

$$l_p = 0,00 \text{ m}$$

$$U = \frac{(2,792 \times 1,40) + (0,568 \times 1,00) + (10,74 \times 0,08)}{2,792 + 0,568} = 1,588 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$

6.1.8 Calcular el puente térmico de forjado, cuyo flujo de calor Φ_{2d} se ha calculado con el programa Therm



La transmitancia térmica del cerramiento $U_m = 0,39 \text{ W/m}^2 \text{ K}$. La temperatura interior es de 20°C y la exterior es de 0°C .

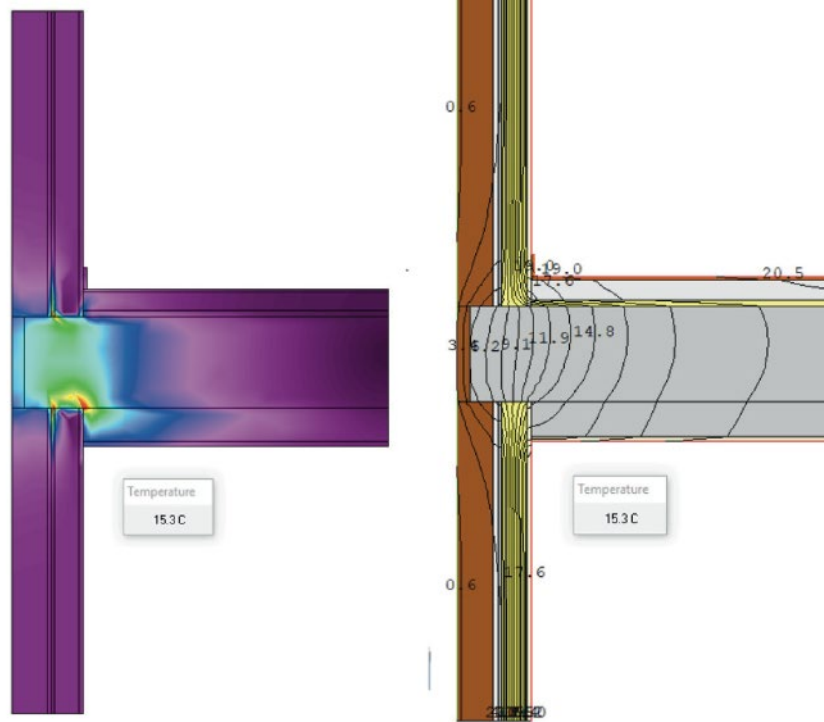
Este programa informático entre otros resultados nos facilita el flujo de calor Φ_{2D} , cuyo valor es de $36,49 \text{ W}$.

	U-factor W/m ² -K	delta T C	Length mm	Rotation		Heat Flow W
Exterior	0.7933	20.0	2300	N/A	Total Length	36.4930
Interior	0.4821	20.0	3785	N/A	Total Length	36.4942

Seguidamente procedemos a aplicar la formulación:

$$\psi_L = \frac{36,49}{20} - (1 * 0,39) - (1 * 0,39) = 1,824 - 0,39 - 0,39 = 1,044 \text{ W/mk}$$

6.1.9 Calcular la existencia de condensaciones superficiales en un puente térmico de canto de forjado. El modelizado se ha realizado con el programa informático Therm



Una vez modelizado el puente térmico, la aplicación informática nos indica que el punto del puente térmico con menor temperatura está a 15,3 °C.

Procedemos a calcular el factor de temperatura de la superficie interior f_{Rsi} :

$$f_{Rsi}(x, y) = \frac{\theta_{si}(x, y) - \theta_e}{\theta_i - \theta_e} = \frac{15,3 - 10,4}{20 - 10,4} = \frac{4,90}{9,60} = 0,51$$

$\theta_{si} = 15,3^\circ \text{ C}$

θ_e (temperatura exterior media en el mes de enero, tabla C.1, del apéndice C, DA DB-HE/2) = 10,4° C

$\theta_i = 20^\circ \text{ C}$

El factor de temperatura de la superficie interior mínimo $f_{Rsi,min}$

Categoría del espacio	α	Zona climática de invierno				
		A	B	C	D	E
Clase de higrometría 5	0,70	0,80	0,80	0,80	0,90	0,90
Clase de higrometría 4	0,56	0,66	0,66	0,69	0,75	0,78
Clase de higrometría 3 o inferior a 3	0,42	0,50	0,52	0,56	0,61	0,64

Imagen 3.28 (DA-DB HE/2): **Tabla 1. Factor de temperatura de la superficie interior mínimo $f_{Rsi,min}$.**

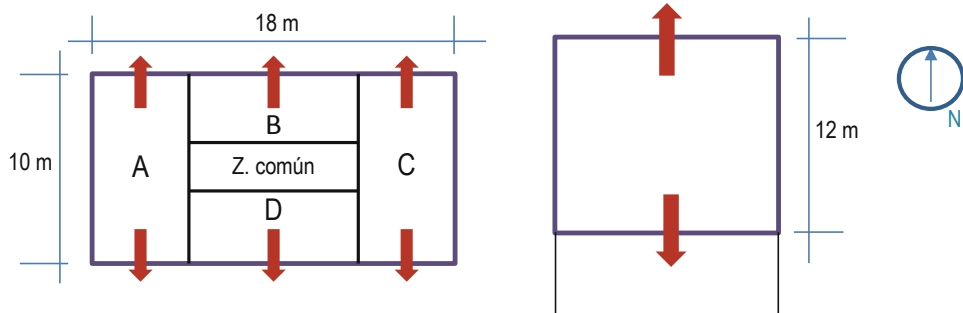
No se cumple la condición que $f_{Rsi} > f_{Rsi,min}$, por tanto, **tendríamos condensaciones superficiales.**

6.1.10 Ejemplo práctico de justificación del HE -1

Calcular el:

- Coeficiente global de transmisión de calor a través de la envolvente térmica (k).
- Control solar ($q_{sol;jul}$).
- Permeabilidad al aire de la envolvente térmica (Q_{100}).
- Relación del cambio de aire (n_{50}).

De una edificación situada en Valencia capital (zona climática B3), de planta baja más 3 alturas, con 4 viviendas por planta y con la siguiente configuración:



Los parámetros de cálculos son los siguientes:

Cerramientos de fachada (norte y sur)	$U_f = 0,30 \text{ W/m}^2 \text{ k}$
Cerramientos de fachada (este y oeste)	Medianeras, por tanto, adiabáticas
Cubierta	$U_c = 0,25 \text{ W/m}^2 \text{ k}$
1 ^{er} Forjado	$U_e = 0,35 \text{ W/m}^2 \text{ k}$
Ventanas (42 unidades, con persianas oscuras) Vidrio doble bajo emisivo 21 ventanas en fachada norte 21 ventanas en fachada sur: 10 ventanas con voladizos de 1 m	$U_H = 1,572 \text{ W/m}^2 \text{ k}$ Permeabilidad al aire, clase 4
Puentes térmicos	Pt c. forjado = 0,83 W/mk Pt cubierta = 0,91 W/mk Pt esquina = 0,06 W/mk Pt pilares aisl. = 0,00 W/mk Pt alfeizar = 0,08 W/mk Pt jambas = 0,60 W/mk Pt dinteles = 0,75 W/mk

6.1.10.1 Cálculo de la compacidad del edificio

Volumen = (10,00-0,30-0,30) x (18,00-0,30-0,30) x (12,00-0,30) = 9,40 x 17,40 x 8,70 = 1.913,65 m³

Área = (2,00 x 18,00 x 12,00) + (2,00 x 18,00 x 10,00) = 324 + 360 = 792 m²

$$Compacidad = \frac{1.913,65}{792} = 2,42 \text{ m}^3 / \text{m}^2$$

6.1.10.2 Cálculo del Coeficiente global de transmisión de calor a través de la envolvente térmica (k)

$\sum A_H \times U_H$	$(42 \times 1,10 \times 1,60) \text{ m}^2 \times 1,572 \frac{W}{\text{m}^2 \text{ k}}$	116,20 W/k
$\sum A_f \times U_f$	$((2 \times 18,00 \times 12,00) - (42,00 \times 1,10 \times 1,60)) \text{ m}^2 \times 0,30 \frac{W}{\text{m}^2 \text{ k}}$	107,42 W/k
$\sum A_c \times U_c$	$(18,00 \times 10,00) \text{ m}^2 \times 0,25 \frac{W}{\text{m}^2 \text{ k}}$	45 W/k
$\sum A_e \times U_e$	$(18,00 \times 10,00) \text{ m}^2 \times 0,35 \frac{W}{\text{m}^2 \text{ k}}$	63 W/k

Pt forjado	2x(4,00x18,00x0,83 W/mk)	119,52 W/mk
Pt cubierta	2x(18,00x0,91 W/mk)	32,76 W/mk
Pt esquina	4x(9,00x0,06 W/mk)	2,16 W/mk
Pt pilares aisl.	0,00 W/mk	0,00 W/mk
Pt alfeizar	42x(1,60x0,08 W/mk)	5,38 W/mk
Pt jambas	2x(42x1,10x0,60 W/mk)	55,44 W/mk
Pt dinteles	42x(1,60x0,75 W/mk)	50,40 W/mk
	TOTAL	256,66 W/mk

$$K = \sum_x b_{tr,x} [\sum_i A_{x,i} U_{x,i} + \sum_k l_{x,k} \psi_{x,k} + \sum_j x_{x,j}] / \sum_x \sum_i b_{tr,x} A_{x,i}$$

$$B_{tr,x} = 1$$

$B_{tr,x} = 0$ (medianeras y separación de viviendas con espacio adyacente)

$$H_x = B_{tr,x} \Sigma (AH \times UH) + B_{tr,x} \Sigma (Af \times Uf) + B_{tr,x} \Sigma (Ac \times Uc) + B_{tr,x} \Sigma (Ae \times Ue) + B_{tr,x} \Sigma (I_{pt} \times \psi_{pt}) + \Sigma (X_{pt,p})$$

Se desprecia el valor de los puentes térmicos puntuales

Valor 0

$$A_{int} = (B_{tr,x} AH + B_{tr,x} Af + B_{tr,x} Ac + B_{tr,x} Ae)$$

Valor 0

$$K = \frac{116,20 + 107,42 + 45 + 256,66}{73,92 + 358,08 + 180} = \frac{525,28}{612} = 0,86 \text{ W/m}^2 \text{ k}$$

El coeficiente global límite de transmisión de calor a través de la envolvente térmica (k_{lim})

	Compacidad V/A [m ³ /m ²]	Zona climática de invierno					
		α	A	B	C	D	E
Edificios nuevos y ampliaciones	V/A ≤ 1	0,67	0,60	0,58	0,53	0,48	0,43
	V/A ≥ 4	0,86	0,80	0,77	0,72	0,67	0,62
Cambios de uso. Reformas en las que se renueve más del 25 % de la superficie total de la envolvente térmica final del edificio	V/A ≤ 1	1,00	0,87	0,83	0,73	0,63	0,54
	V/A ≥ 4	1,07	0,94	0,90	0,81	0,70	0,62

Los valores límite de las compacidades intermedias ($1 < V/A < 4$) se obtienen por interpolación.

En el caso de ampliaciones los valores límite se aplicarán en caso de que la superficie o el volumen construido se incrementen más del 10 %.

Imagen 4.6 (CTE-HE 2019): Tabla 3.1.1.b - HE1. Valor límite K_{lim} [W/m²K] para uso residencial privado.

$$\frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} = \frac{a}{x_a - x_1}$$

$$\frac{0,77 - 0,58}{4 - 1} = \frac{a}{2,42 - 1,00}$$

$$a = \frac{0,19 \times 1,42}{3} = 0,09$$

$$K_{lim} = 0,58 + 0,09 = 0,67 \text{ W/m}^2 \text{ k}$$

Por lo tanto, no se cumple que $K > K_{lim}$

Tendríamos que analizar la formulación para saber cuál es el problema.

Nosotros sabemos que nuestra K debe tener un valor máximo de 0,67, vamos a escoger 0,66 por prudencia. Por tanto:

$$K = \frac{X}{612} = 0,66 \rightarrow X = 0,66 \times 612 = 403,92 \text{ W/k}$$

Tendríamos que reducir $H_x = 525,28 - 403,92 = 121,36 \text{ W/k}$

Vamos a analizar dónde podríamos reducir esta cantidad

$$K = \frac{\overbrace{116,20}^{\text{ventanas}} + \overbrace{107,42}^{\text{fachadas}} + \overbrace{45}^{\text{cubierta}} + \overbrace{256,66}^{\text{Puentes térmicos}}}{73,92 + 358,08 + 180} = \frac{525,28}{612} = 0,86 \text{ W/m}^2 \text{ k}$$

Como podemos observar donde podemos reducir mas perdidas de energía es tratando los puentes térmicos. Por tanto, habrá que seleccionar los sistemas constructivos mas adecuados para poder reducir estas pérdidas en un mínimo de 121,36 W/k.

6.1.10.3 Control solar ($q_{sol;jul}$)

$$q_{sol;jul} = Q_{sol;jul} / A_{util} = (\sum_k F_{sh;obst} \cdot g_{gl;sh;wi} \cdot (1 - F_F) \cdot A_{w,p} \cdot H_{sol;jul}) / A_{util}$$

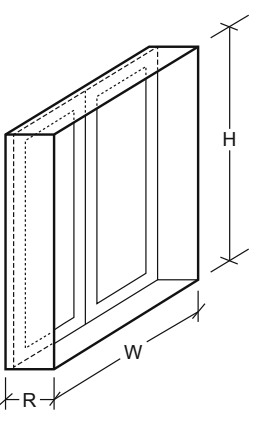
Primeramente, debemos de entrar en tablas para averiguar el valor de $F_{sh;obst}$, por tanto, en primer lugar vamos a averiguar las relaciones necesarias para entrar en las columnas y filas de las tablas.

$$R/W = 0,30/1,60 = 0,19$$

$$R/H = 0,30/1,10 = 0,27$$

$$L/H = 1,29/1,10 = 1,17$$

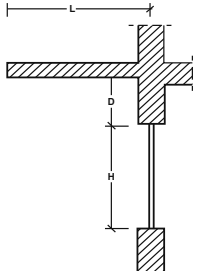
$$D/H = 0,50/1,10 = 0,45$$



		0,05 < R/W ≤ 0,1	0,1 < R/W ≤ 0,2	0,2 < R/W ≤ 0,5	R/W > 0,5
S	0,05 < R/H ≤ 0,1	0,82	0,74	0,62	0,39
	0,1 < R/H ≤ 0,2	0,76	0,67	0,56	0,35
	0,2 < R/H ≤ 0,5	0,56	0,51	0,39	0,27
	R/H > 0,5	0,35	0,32	0,27	0,17
SE/SO	0,05 < R/H ≤ 0,1	0,86	0,81	0,72	0,51
	0,1 < R/H ≤ 0,2	0,79	0,74	0,66	0,47
	0,2 < R/H ≤ 0,5	0,59	0,56	0,47	0,36
	R/H > 0,5	0,38	0,36	0,32	0,23
E/O	0,05 < R/H ≤ 0,1	0,91	0,87	0,81	0,65
	0,1 < R/H ≤ 0,2	0,86	0,82	0,76	0,61
	0,2 < R/H ≤ 0,5	0,71	0,68	0,61	0,51
	R/H > 0,5	0,53	0,51	0,48	0,39

NOTA: En los huecos orientados a norte se puede considerar como valor simplificado 1.

Imagen 3.24 (CTE DA-DB HE/1): Tabla 17. Factor de sombra para obstáculos de fachada ($F_{sh,obst}$): Retranqueo.



NOTA: En caso de que exista un retranqueo, la longitud L se medirá desde el centro del acristalamiento.

ORIENTACIONES DE FACHADAS			$0,2 < L/H \leq 0,5$	$0,5 < L/H \leq 1$	$1 < L/H \leq 2$	$L/H > 2$
			$0 < D/H \leq 0,2$	$0,2 < D/H \leq 0,5$	$D/H > 0,5$	$0 < D/H \leq 0,2$
S			0,82	0,50	0,28	0,16
			0,87	0,64	0,39	0,22
			0,93	0,82	0,60	0,39
SE/SO			0,90	0,71	0,43	0,16
			0,94	0,82	0,60	0,27
			0,98	0,93	0,84	0,65
E/O			0,92	0,77	0,55	0,22
			0,96	0,86	0,70	0,43
			0,99	0,96	0,89	0,75

NOTA: En los huecos orientados a norte se puede considerar como valor simplificado 1.

Imagen 3.23 (CTE DA-DB HE/1): Tabla 16. Factor de sombra para obstáculos de fachada ($F_{sh,obst}$): Voladizo.

Como se indica en las tablas anteriores el valor $F_{sh,obst}$ de las fachadas orientadas al norte es 1. Seguidamente procedemos a calcular la transmitancia total de energía solar del acristalamiento con el dispositivo de sombra móvil activado $g_{gl;sh;wi}$

Factor de transmitancia solar del dispositivo de protección solar		Protección exterior				Protección interior			
		Factor de reflexión ($\rho_{e,B}$)				Factor de reflexión ($\rho_{e,B}$)			
$T_{e,B}$	Tipo de vidrio	blanco	pastel	oscuro	negro	blanco	pastel	oscuro	negro
0 (p.ej: persianas)	Vidrio sencillo	0,06	0,11	0,15	0,19	0,34	0,43	0,54	0,66
	Vidrio doble	0,05	0,08	0,11	0,14	0,34	0,43	0,53	0,63
	Vidrio doble bajo emisivo	0,03	0,05	0,08	0,10	0,34	0,42	0,51	0,59
	Vidrio triple bajo emisivo	0,03	0,05	0,06	0,08	0,30	0,34	0,38	0,41
0,2 (p.ej: toldos)	Vidrio sencillo	0,22	0,27	0,31	0,33	0,39	0,51	0,62	0,68
	Vidrio doble	0,20	0,23	0,26	0,28	0,39	0,50	0,60	0,65
	Vidrio doble bajo emisivo	0,17	0,20	0,22	0,23	0,39	0,48	0,56	0,61
	Vidrio triple bajo emisivo	0,13	0,15	0,16	0,17	0,32	0,36	0,40	0,42
0,4 (p.ej: cortinas)	Vidrio sencillo	0,41	0,43	0,45	0,47	0,53	0,59	0,65	0,71
	Vidrio doble	0,36	0,38	0,39	0,41	0,51	0,56	0,61	0,66
	Vidrio doble bajo emisivo	0,33	0,34	0,35	0,36	0,49	0,53	0,58	0,62
	Vidrio triple bajo emisivo	0,24	0,25	0,26	0,27	0,37	0,38	0,40	0,42

Imagen 3.20 (CTE DA-DB HE/1): Tabla 12. Transmitancia total de energía solar de huecos para distintos dispositivos de sombra móvil ($g_{gl;sh;wi}$).

Por último, procedemos a calcular la irradiación solar media acumulada en el mes de julio $H_{sol;jul}$

Z.C.	Horiz.	NE	E	SE	S	SO	O	NO	N
A3	220,36	96,73	127,81	117,82	89,53	115,84	124,7	94,3	59,39
A4	235,35	99,25	132,86	123,7	94,78	123,83	133,97	100,69	61,12
B3	220,33	92,03	121,85	114,45	89,73	114,64	122,02	92,07	57,92
B4	235,31	101,7	135,64	125,09	94,13	121,94	131,14	98,48	61
C1	195,77	88,49	114,47	106,12	81,72	101,55	108,06	84	56,85
C2	217,19	96,61	128,05	117,89	88,17	111,22	118,78	90,17	58,23
C3	220,34	97,05	128,62	118,69	89,37	115,69	125,22	95,24	59,61
C4	235,35	101,78	136,41	126,01	94,84	121,68	130,08	97,16	60,36
D1	195,8	88,53	114,54	106,15	81,96	101,33	107,19	82,96	56,51
D2	217,18	94,76	125,48	116,31	88,51	113,39	121,59	92,18	58,27
D3	220,32	94,22	124,81	116,03	89,15	115,91	125,24	94,95	58,91
E1	195,79	88,95	114,88	106,34	82,09	101,16	106,71	82,58	56,67

Imagen 3.27 (CTE DA-DB HE/1): Tabla 20. Irradiación solar media acumulada en el mes de julio ($H_{sol;jul}$) [kWh/m²] para climas peninsulares, de las islas Baleares, Ceuta y Melilla.

$$Q_{sol;jul} = (1,00 \times 0,08 \times (1 - 0,25) \times 36,96 \times 57,92) + (0,51 \times 0,08 \times (1 - 0,25) \times 19,36 \times 89,73) + (0,39 \times 0,08 \times (1 - 0,25) \times 17,60 \times 89,73) = 128,44 + 53,15 + 36,95 = 218,55 \text{ Kwh/mes}$$

$$A_{util} = 4 \times (18,00 - 0,30 - 0,30) \times (10,00 - 0,30 - 0,30) = 4 \times 17,40 \times 9,40 = 654,24 \text{ m}^2$$

$$q_{sol;jul} = \frac{218,55}{654,24} = 0,33 \text{ Kwh/m}^2 \text{ mes}$$

El valor límite del control solar $q_{sol;jul;lim}$

Uso	$q_{sol;jul}$
Residencial privado	2,00
Otros usos	4,00

Imagen 4.8 (CTE-HE 2019): Tabla 3.1.2 - HE1. Valor límite del parámetro de control solar, $q_{sol;jul;lim}$ [kWh/m²-mes].

Se cumple la condición que $q_{sol;jul} < q_{sol;jul;lim}$

6.1.10.4 Permeabilidad al aire de la envolvente térmica (Q_{100})

Tal y como se indica en el enunciado del ejemplo la permeabilidad al aire de la carpintería es de clase 4.

Según tabla de la norma UNE-EN 12207:2017 las clases de permeabilidad son:

4.5.1 Clasificación de ventanas y puertas peatonales.

Clase	Permeabilidad al aire de referencia a 100 Pa m ³ /(h·m ²)	Presión máxima de ensayo Pa
1	50	150
2	27	300
3	9	600
4	3	600

Imagen 4.9 (UNE 12207): Tabla 1 - Permeabilidad al aire de referencia relacionada con la superficie total.

Por tanto, una carpintería de permeabilidad al aire de clase 4, tiene una permeabilidad de $Q_{100} = 3 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$. Esta permeabilidad está por debajo del límite. Por tanto, cumple con la condición.

Tabla 3.1.1.a - HE1. Valor límite de permeabilidad al aire de huecos de la envolvente térmica, $Q_{100,\text{lim}}$ [$\text{m}^3/\text{h}\cdot\text{m}^2$].

	Zona climática de invierno					
	α	A	B	C	D	E
Permeabilidad al aire de huecos ($Q_{100,\text{lim}}$)*	≤ 27	≤ 27	≤ 27	≤ 9	≤ 9	≤ 9

6.1.10.5 Relación del cambio de aire (n_{50})

$$n_{50} = 0,629 \cdot (C_o \cdot A_o + C_h \cdot A_h) / V$$

Tipo de edificio	C_o
Nuevo o existente con permeabilidad mejorada.	16
Existente.	29

Imagen 4.11 (CTE-HE 2019): Tabla a-Anejo H. Valores de referencia del coeficiente de caudal de aire para la parte opaca de la envolvente térmica, C_o [$\text{m}^3/\text{h}\cdot\text{m}^2$] (100 Pa).

$$C_o = 16 \text{ m}^3/\text{h}\cdot\text{m}^2$$

$$A_o = (2 \cdot 18 \cdot 12) + (2 \cdot 10 \cdot 12) + (18 \cdot 10) + (18 \cdot 10) - (42 \cdot 1,60 \cdot 1,10) = 432 + 240 + 180 + 180 - 73,92 = 958,08 \text{ m}^2$$

$$C_h = 3 \text{ m}^3/\text{h}\cdot\text{m}^2$$

$$A_h = 73,92 \text{ m}^2$$

$$V = 1,913,65 \text{ m}^3$$

$$n_{50} = \frac{0,629 \cdot (16 \cdot 958,08 + 3 \cdot 73,92)}{1913,65} = \frac{9781,60}{1913,65} = 5,11 \text{ h}^{-1}$$

Compacidad V/A [m^3/m^2]	n_{50}
$V/A \leq 2$	6
$V/A \geq 4$	3

Los valores límite de las compacidades intermedias ($2 < V/A < 4$) se obtienen por interpolación.

Imagen 4.12 (CTE-HE 2019): Tabla 3.1.3.b - HE1. Valor límite de la relación del cambio de aire con una presión de 50 Pa, n_{50} [h^{-1}].

El valor límite $n_{50,\text{lim}}$

$$\frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} = \frac{a}{x_2 - x_1}$$

$$a = \frac{6 - 3}{4 - 2} (4 - 2,42) = 2,37 \text{ h}^{-1}$$

El valor límite $n_{50,\text{lim}} = 3,00 + 2,37 = 5,37$

Por tanto se cumple la relación de que $n_{50} < n_{50,\text{lim}}$.

CAPÍTULO 7.º

EJEMPLOS DE
INTERPRETACIÓN DE
ENSAYOS (BLOWER DOOR Y
TERMOGRAFÍA)



CAPÍTULO 7.º Ejemplos de interpretación de ensayos (Blower Door y termografía)

En los próximos párrafos se va a exponer un ejemplo representativo de un plan de control específico para el apartado de infiltraciones no deseadas empleando el ensayo no destructivo Blower Door Test.

7.1.- Estanqueidad al aire de envolventes

Las pérdidas energéticas a través de una envolvente se producen de dos formas: por conducción a través de los elementos sólidos (puentes térmicos) y por convección a través de los orificios y juntas del cerramiento (infiltraciones de aire).

Asegurar un buen nivel de estanqueidad para un edificio implica ser capaz de controlar el flujo de aire que circula a través de los orificios conocidos (conductos de ventilación y entradas de aire) y limitar el flujo incontrolado que puede ser una fuente de pérdida de energía y falta de confort.

El ensayo Blower Door se ha propuesto en el CTE DB HE 2019 como uno de los métodos disponibles para el control de las infiltraciones de aire no deseadas en obras de edificación. Este ensayo está regulado también en los procedimientos de certificación de estándares de construcción y sostenibilidad voluntarios Passivhaus, LEED, BREEAM y VERDE.

Este ensayo permite también evitar que el aire húmedo del interior que se exfiltre al exterior y encuentre su punto de rocío en el interior del cerramiento produzca condensaciones intersticiales. De esta forma se contribuye también a limitar la penetración de olores, polvo o contaminantes al interior de los edificios.

La ejecución de ensayo de estanqueidad Blower Door está definido en la norma UNE-EN ISO 9972:2019, y tiene las siguientes aplicaciones:

- Medición del caudal de aire de infiltración.
- Localización de los puntos de infiltración de la envolvente.
- Medición del tiempo de retención en los recintos con sistemas de extinción de incendios mediante agentes gaseosos.
- Mejora de condiciones termo-higrométricas en hospitales, laboratorios y salas blancas sin penalización energética.
- Mejora de las condiciones asépticas en salas limpias.
- Medición de la estanqueidad de conductos de distribución de aire o cámaras frigoríficas.
- Evitar la entrada desde el exterior de contaminantes, polvo y olores.
- Evitar puentes acústicos aéreos en la envolvente.

7.2.- Metodología

La imagen 7.1 muestra una sección de un edificio que incluye el procedimiento de medición. El equipo de Blower Door es instalado en la puerta exterior (marcada en rojo). Las flechas azules indican las infiltraciones de aire exterior a través de la envolvente, que pueden ser localizadas generando en el edificio una presión inferior a la presión atmosférica.

Según la UNE-EN ISO 9972:2019 en el ensayo Blower Door obtenemos el flujo de aire necesario para generar una presión diferencial de 50 pascales. Esta presión es equivalente a un viento de grado 3 en la escala de Beaufort, o una presión dinámica equivalente a un viento de 32 km/h.

A partir de las infiltraciones y del flujo de aire del edificio calculamos el valor requerido por el CTE-HE-2019 de n_{50} .

Un ventilador calibrado extrae y mide el caudal de aire del interior del edificio; al mismo tiempo, el aire exterior penetra a través de las infiltraciones de la envolvente.

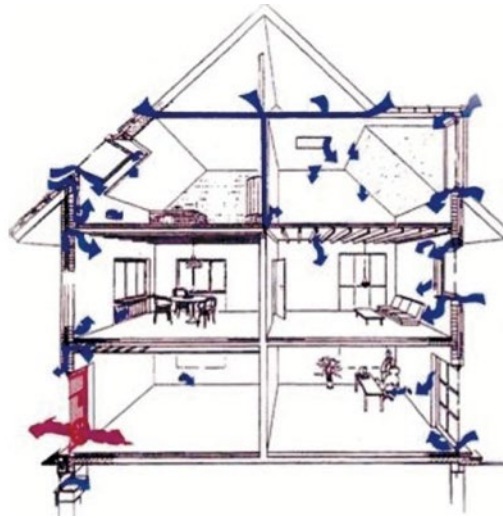


Imagen 7.1: (Blower Door Test).

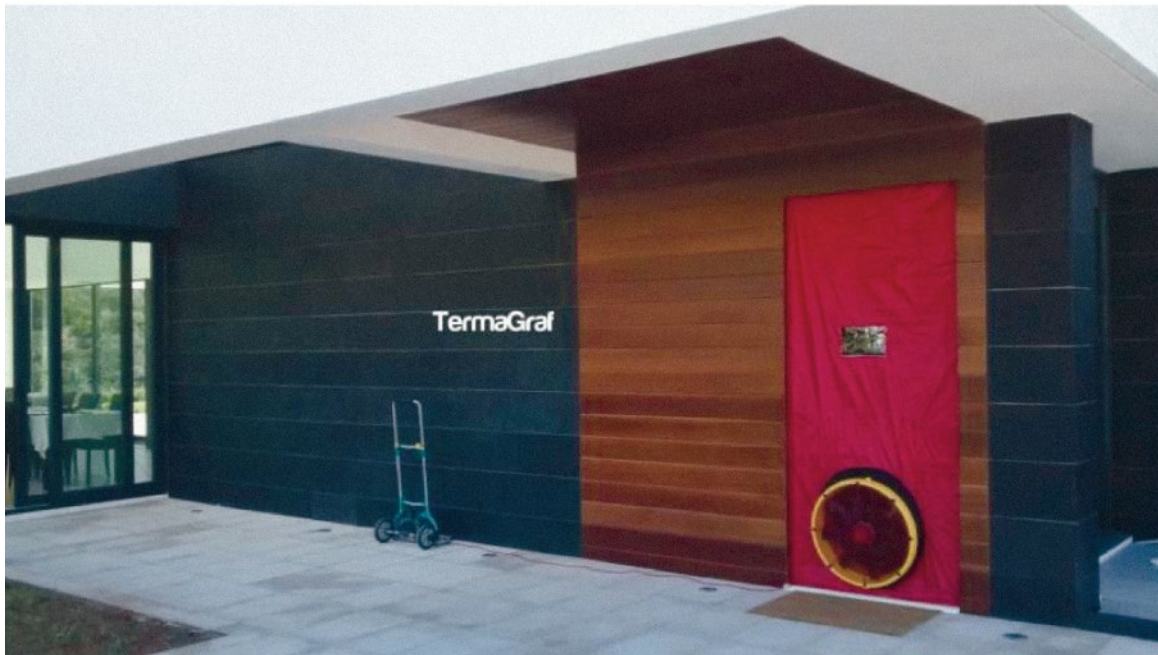


Imagen 7.2: Imagen exterior emplazamiento equipos ensayo (fuente: Termagraf).

El ensayo Blower Door controla la hermeticidad de la envolvente térmica y dado que la estanqueidad final que se consiga depende de la calidad de ejecución y montaje de todos los elementos, es muy importante hacer los ensayos Blower Door cuando esté instalada la carpintería exterior.

El ensayo Blower Door mide la estanqueidad global del recinto objeto del ensayo; por tanto, se controla también la existencia de infiltraciones en las juntas muro-marco, marco-hoja y hoja-vidrio. No es suficiente el ensayo que acredite la estanqueidad de la ventana en fábrica, puesto que puede sufrir montajes defectuosos en obra.



Imagen 7.3: Imagen interior emplazamiento equipos ensayo (fuente: Termagraf).

Antes de realizar el ensayo, se debe proceder al sellado de todas las aberturas conocidas (por ejemplo, conductos de ventilación) de manera que el flujo de aire causado por la diferencia de presión se produce si hay fugas. La tasa de fuga se mide a continuación para una diferencia de presión impuesta. Este «método de presurización por ventilador» es estandarizado (UNE-EN ISO 9972:2019).

El protocolo para la medición de la permeabilidad al aire mediante el sistema Blower Door consta de seis pasos principales:

1. Declaración de características geométricas del sitio.
2. Sellado de los orificios.
3. Colocación de la puerta extensible.
4. Establecimiento del dispositivo de medición.
5. Visualización de los puntos de fuga.
6. Medición del flujo de fuga por 5-10 etapas de presión. (En la depresión y o sobrepresión).

Se recomienda la realización de los ensayos de estanqueidad Blower Door en dos etapas:

1ª etapa

En el momento en que se cierra totalmente la envolvente, se procederá a la realización de la 1ª etapa del ensayo. Habitualmente se crea una depresión en la vivienda. De este modo es posible localizar las infiltraciones que puedan existir, y al ser accesibles en este momento, pueden ser reparadas o selladas, y este ensayo servirá como control de ejecución de obra.

Además de la medición del caudal de infiltraciones, se realizará una inspección termográfica de alta resolución (640 x 480 píxeles IR) con cámara con certificado de calibración ENAC para localizar los puntos de infiltración. En caso de no ser posible establecer un contraste térmico entre el interior y exterior de la vivienda, se emplearán emisores de humo o anemómetros para la búsqueda de posibles infiltraciones.

Se prestará especial interés en todos los puntos de encuentro, carpinterías, conducciones eléctricas, pasos de instalaciones, etc.

Por tanto, el objetivo de este primer ensayo Blower Door es la medición del nivel de estanqueidad presente, y la búsqueda y localización de las posibles infiltraciones.



Imagen 7.4: Varias fases desarrollo del ensayo (fuente: Termagraf).

2ª etapa

La segunda etapa del ensayo se realiza a la finalización de la obra, con el objetivo de medir la estanqueidad conseguida del edificio terminado, y será la prueba final para la certificación.

Informe de ensayo

El laboratorio contratado redacta un informe de ensayo de estanqueidad por cada vivienda o local ensayado, con su correspondiente identificación y clasificación. El informe de cada ensayo debe de contener la siguiente información:

- Identificar el recinto probado.
- Estándar utilizado (UNE-EN ISO 9972:2019).
- Certificación de la capacitación del operador en ensayos de hermeticidad (Nivel I, Nivel II).
- Parte del edificio ensayado en su caso (pisos, áreas incluidas, áreas excluidas etc.).
- Superficie útil (TFA) y el volumen interno del espacio ($V_{n_{50}}$). Dato a suministrar por la dirección facultativa.
- La documentación de la verificación de los cálculos de $V_{n_{50}}$. Dato a suministrar por la dirección facultativa.
- Elevación de la construcción: la altura del edificio.
- Estado de toda abertura en el recinto del edificio (sellado, abierto, cerrado, bloqueado).
- Descripción de los sellos temporales.
- Marca y modelo de Blower Door, número de serie - la fecha de la última calibración.
- Las diferencias de presión de línea de base.
- Temperaturas interior y exterior (Celsius).
- La velocidad del viento o la Escala de Beaufort.
- Cuadro con las diferencias de presión y caudales de aire (generados por el software o derivados de prueba manual).
- Gráfico de las fugas de aire.
- Tasa de cambio de aire, n_{50} , a 50 P para la presurización, despresurización y fecha de la prueba.

* n_{50} es otra abreviatura de uso general para hacer referencia a la tasa de intercambio de aire a presión 50 pascales.

Termografía, anemómetros de hilo caliente y generadores de humo

La localización de las infiltraciones se efectuará mediante inspección termográfica de alta resolución en base a la reducida amplitud térmica en edificación. Se deberá acreditar la capacitación profesional del técnico termógrafo (nivel II ITC o equivalente), la experiencia profesional del mismo y los certificados de calibración de la cámara termográfica en un laboratorio homologado por ENAC.

El principio de localización termográfica de infiltraciones de aire se basa en el efecto refrigerante que el aire frío que penetra por el hueco produce en la pared interior.

La mayoría de las infiltraciones en carpinterías entran de forma tangencial a la pared interior, debido a la forma de los perfiles, pero, en caso de que una infiltración sea perpendicular a la pared, se emplea el método de hacer incidir dicha corriente de aire sobre una hoja de papel (cuerpo con poca masa) y registrar el efecto sobre dicha superficie. Otros métodos aplicables para detectar las infiltraciones son los **anemómetros de hilo caliente** o los **generadores de humo**.

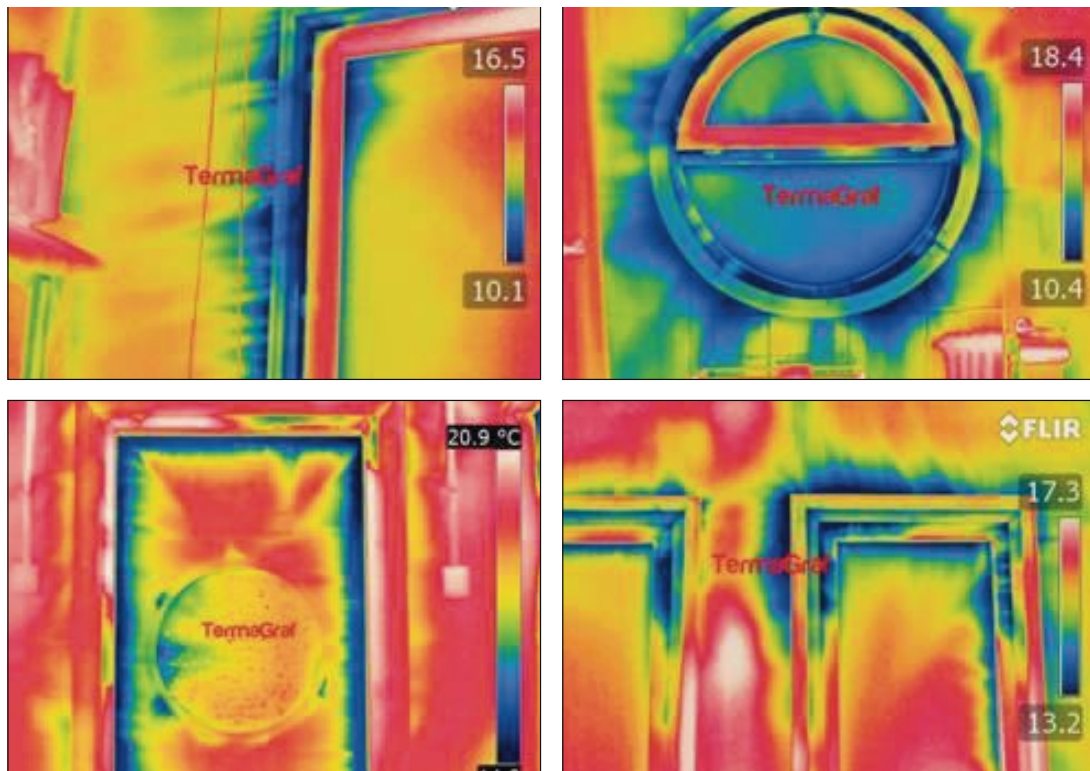


Imagen 7.5: Termografías específicas para infiltraciones de aire (fuente: Termagraf).

En las imágenes termográficas 7.5, los colores que representan las temperaturas vienen definidos por el rango de temperaturas, indicada en la barra lateral derecha. Las diferencias de color entre varias imágenes de una misma cara son debidas a que se ha modificado el rango de cada imagen para resaltar la anomalía o detalles observados.

Referencias

BIBLIOGRAFÍA

LOS AUTORES



BIBLIOGRAFÍA

- Directiva 2018/844.
- RD 235/2013.
- CTE-DB-HE-2019- Ahorro de Energía.
- DA DB-HE/1 – Cálculo de parámetros característicos de la envolvente.
- DA DB-HE/2 – Comprobación de limitación de condensaciones superficiales e intersticiales en los cerramientos.
- DA DB-HE/3 – Puentes térmicos.
- UNE-EN ISO 10211: Puentes térmicos en edificación.
- ISO 9972:2015: Método de presurización con ventilador.
- UNE-EN ISO 13788: Características higrotérmicas de los elementos y componentes de edificación.
- UNE-EN-10077-2: Comportamiento térmico de ventanas, puertas y persianas.
- Condiciones técnicas de los procedimientos para la evaluación de la eficiencia energética de los edificios de Julio de 2019.



Javier Manuel Juárez Martínez

(Torrevieja, 1975)

Arquitecto Técnico, por la universidad de Alicante (2002).

Ingeniero de Edificación, por la universidad Jaume I (2011).

Master de Estructuras de Edificación, por Zigurat consultoría de formación técnica y CYPE (2013).

Master Bim Management, por la universidad Rey Juan Carlos y EADIC (2019).

Formación complementaria con la asistencia a cursos, seminarios, conferencias y jornadas técnicas.

Durante los primeros años del ejercicio de la profesión estuvo vinculado al departamento de ejecución de obras de diferentes constructoras como Jefe de Obra y Jefe de Grupo, así como dirigiendo departamentos de estudios de obra.

En los últimos años ha estado vinculado al sector de la eficiencia energética de la edificación, llevándolo en 2018 a ser socio fundador de Tera Consultores de Ingeniería S.L, entidad de control de eficiencia energética acreditada por la Generalitat Valenciana.

Colaborador de cursos y ponencias de eficiencia energética en edificación, en diferentes colegios profesionales.



Antonio Javier Siles Conejo

Además de a su familia, Javier se dedica en cuerpo y alma a intentar mejorar el confort térmico y las facturas energéticas de las personas. Tomó la decisión de dedicarse a ello tras sufrir un desmayo por enfriamiento mientras cursaba sus estudios de Arquitectura Técnica. Crecer en un entorno humilde le obligó a ser lo más eficiente posible y a desarrollar una habilidad que es su actual enseñanza personal: hacer comprensible y accesible la alta eficiencia energética a cualquiera. Javier es un apasionado de la formación y la divulgación, ha ejercido como profesional libre, como técnico municipal, y como profesor en numerosos cursos y ponencias, tanto para organismos públicos como privados.

Actualmente centra sus esfuerzos en numerosas acciones para paliar los efectos de la pobreza energética, luchando en primera línea contra la emergencia climática en la que nos encontramos, en su región y allí en donde se le necesite. Le podéis encontrar en <https://www.linkedin.com/in/antonio-javier-siles-conejo-746b5585>.



Calle del Jazmín, 66. 28033 Madrid
Tel. 913 83 29 73 - Fax: 917 66 42 45
www.fundacionmusaat.musaat.es

ISBN: 978-84-09-26038-6



9 788409 260386