arquia/e-temas

Eficiencia energética de la envolvente de los edificios: su definición y cálculo



María del Carmen
Giménez Molina

1

Prefacio

1. Introducción

2. Normativa. El nacimiento de nuestro código técnico
   - 2.1. La normativa en Europa
   - 2.2. El Código Técnico en la eficiencia energética
   - 2.3. Actualización del CTE-HE-2013: Limitación de la demanda energética

3. Demanda energética de la envolvente. Análisis de las secciones HE-0 y HE-1
   - 3.1. Ganancias y pérdidas en la envolvente
   - 3.2. Estudio de la envolvente según la HE-1
     - 3.2.1. Caracterización y cuantificación de las exigencias
   - 3.3. Análisis de la HE-0: Limitación del consumo energético

4. Eficiencia energética de los cerramientos opacos
   - 4.1. La envolvente opaca. Descripción
   - 4.2. Resolución del cálculo de la transmitancia térmica según la HE-1
   - 4.3. Fachadas técnicas. Descripción y cálculo

5. Eficiencia energética de los cerramientos transparentes
   - 5.1. Tipología de vidrios
     - 5.1.1. Vidrios estáticos
     - 5.1.2. Vidrios dinámicos
   - 5.2. Ejemplo práctico

6. Anexo. Definiciones

7. Bibliografía

8. Créditos de las ilustraciones

9. Relación de tablas

Prefacio

Sabemos que para mantener el actual nivel de vida y de confort, la sociedad necesita un alto consumo energético.

En los últimos tiempos las diferentes crisis económicas derivadas de la energía y los diversos problemas de contaminación ambiental han provocado un aumento en la toma de conciencia entre los ciudadanos del planeta, basta observar cómo se pretende una mínima utilización de energías fósiles tratando paralelamente de suplirlas por fuentes alternativas.

Por lo tanto, el reto consiste en buscar el desarrollo sostenible, manteniendo el nivel de actividad, de transformación y de progreso, ajustando las necesidades a los recursos existentes para evitar el derroche energético.

Es por ello por lo que el presente libro trata de enumerar las medidas necesarias para alcanzar éste propósito a la vez que nos introduce en la búsqueda de soluciones capaces de conseguirlas, sin olvidarse en ningún momento de seguir las recomendaciones del Código Técnico de la Edificación (CTE). Por su estructura, está destinado a profesionales y estudiantes de todos los oficios relacionados con la construcción.

Siguiendo lo establecido por el CTE, profundiza en la envolvente del edificio, ya que es el elemento que se debe estudiar por ser el causante de las mayores pérdidas energéticas. Continúa estableciendo una distinción entre envolvente opaca y transparente: la primera se utiliza en

todos los casos por lo que es la más conocida. En cuanto a la parte transparente de la envolvente, esa gran desconocida, al final del libro se exponen ejemplos de los que podremos extraer experiencias necesarias para nuestro trabajo.

Por último, y aunque en algunos momentos de nuestra tarea parezca sencilla la aplicación de la normativa incluida en el CTE, en realidad no es así; intentar trabajar los aspectos de sostenibilidad energética entraña bastantes dificultades y es algo ciertamente complejo, de ahí la importancia de este documento pues seguro que su contenido nos ayudará. Por mi propia experiencia puedo afirmar que al final el empeño será gratificante y habrá merecido la pena.

Julián Domene García
Dr. Ingeniero industrial

1. Introducción

Al estudiar la demanda energética en las edificaciones de viviendas residenciales, se comprueba que el mayor consumo se genera en la climatización. Una parte muy importante de la ineficiencia energética de los edificios se debe a las características de la envolvente.

Según un estudio del IDAE[1]

> **Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía.**

realizado en 2011, cuyas conclusiones se recogen en la figura 1.1, una tercera parte de la energía se consume en los

edificios, seguida muy de cerca por el transporte. Si se estudia el consumo energético en las edificaciones de viviendas residenciales, la figura 1.2 indica que el mayor consumo se genera en climatización: un 47%, casi la mitad de todo el sector. Le siguen en orden de magnitud los electrodomésticos, el agua caliente sanitaria, la cocina y la iluminación.

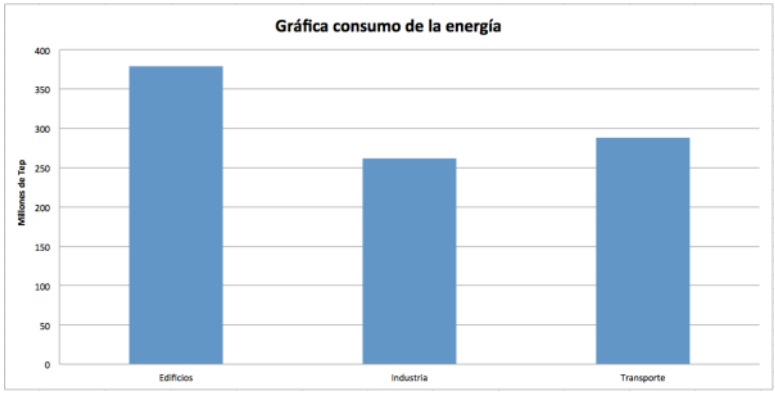


Figura 1.1 Desglose del consumo de la energía por sectores.

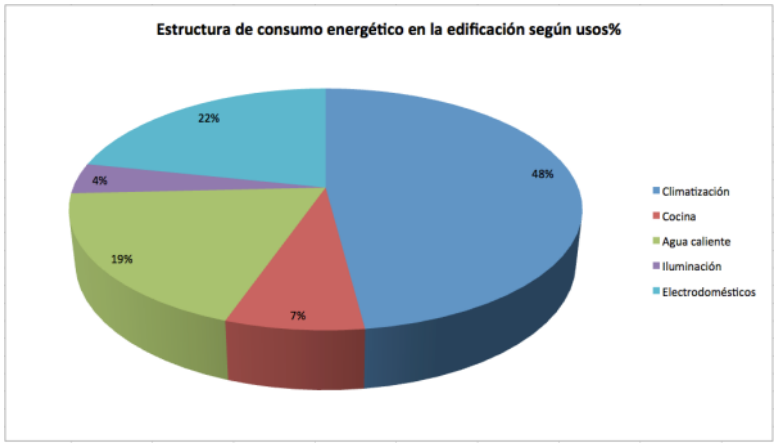


Figura 1.2 Desglose del consumo energético de viviendas en España.

Una parte muy importante de este consumo en climatización es debido a las pérdidas por los cerramientos, pudiendo concluir que, según los datos de ANDIMA[2]

Asociación Nacional de Industriales de Materiales Aislantes.

, actualmente se llega a perder hasta un 40% por la envolvente opaca y un 60% por los cerramientos transparentes.

Las medidas de actuación contempladas en el marco de la Estrategia Española de Ahorro y Eficiencia Energética para alcanzar el ahorro estimado tienen como objetivo mejorar la eficiencia energética de los edificios y sus instalaciones fijas, así como hacer un uso más eficiente de los mismos, siendo una de ellas la reducción de la demanda energética en calefacción y refrigeración en el sector de los edificios existentes, mediante la aplicación de criterios de eficiencia energética en la rehabilitación de la envolvente térmica.

La mejora del aislamiento térmico de un edificio puede suponer ahorros energéticos, económicos y de emisiones de CO_2 del 30% en el consumo de calefacción y aire acondicionado porque lleva consigo la disminución de las pérdidas.

Más del 50% del consumo de una vivienda está ligado a una buena protección térmica de la envolvente.

En definitiva, y cerrando esta introducción, los cerramientos constituyen la envolvente de los espacios habitables y definen su geometría (forma y volumen), tanto exterior como interior. La envolvente tiene que ser capaz, por una parte, de proteger y aislar de los agentes exteriores los ambientes que delimita, y por otra, de definir espacios interiores con el suficiente nivel de confort. A su vez, también debe tener la capacidad de almacenar energía.

El Código Técnico de la Edificación define la demanda energética como la energía necesaria para mantener en el interior del edificio unas condiciones de confort definidas reglamentariamente en función del uso del edificio y de la

zona climática en la que se ubique.

Hemos explicado en los dos párrafos anteriores el punto más importante que este libro va a tratar de explicar: introducirnos en el problema de la eficiencia energética de la envolvente de los edificios, abordándolo desde el punto de vista del Código Técnico de la Edificación.

Adentrémonos en este mundo.

2. Normativa. El nacimiento de nuestro código técnico

A raíz de la primera crisis energética mundial del año 1973, debida esencialmente al encarecimiento del precio del petróleo y la consiguiente alza de los precios de la energía, se generalizó en toda Europa el temor de que las fuentes energéticas podían escasear e incluso llegar a faltar. Ante esta situación, se adoptaron medidas dirigidas a racionalizar el consumo energético, mediante el uso de las normativas existentes y la regulación energética de las técnicas constructivas. Una de ellas fue la aparición de las normas de la edificación, en particular, las que pretendían regularizar el uso del aislamiento en los edificios.

A consecuencia, por una parte, de la mencionada crisis energética, y por otra, el mejor conocimiento y análisis de la repercusión que nuestras actividades tienen en el medio ambiente, la demanda social por un crecimiento sostenible es cada vez mayor desde la década de los setenta.

La primera intervención a nivel mundial se produjo en 1988 y estuvo dedicada a la creación de un organismo dependiente de las Naciones Unidas: el Grupo Intergubernamental de

Expertos sobre el Cambio Climático (GIECC), en inglés *International Panel on Climate Change* (IPCC), cuya función es estudiar los cambios climáticos originados por la acción del hombre.

Como respuesta y solución a estos problemas, se abren desde una perspectiva internacional grandes protocolos destinados tanto a la reducción de emisiones de CO_2 como a la sostenibilidad del planeta. Es el llamado Protocolo de Kioto sobre el cambio climático, enmarcado en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC).

Dicho protocolo se creó el 11 de diciembre de 1997 y su objetivo principal es reducir las emisiones de seis gases de efecto invernadero que son los causantes del calentamiento global en un porcentaje aproximado de un 5%, dentro del período que va del año 2008 al 2012. Actualmente ya se ha abierto el segundo período, de 2013 a 2020; sin embargo la participación internacional está siendo muy débil y con metas poco ambiciosas de cooperación con vistas a la reducción de emisiones.

Los siguientes se relacionan con la sostenibilidad, el desarrollo de las energías renovables y la protección de los recursos de los que dispone nuestro planeta, así como su conservación. Se trata del protocolo de Montreal y del programa 21 de la ONU.

- El Protocolo de Montreal, AGENDA 21, relativo a las sustancias que agotan la capa de ozono se concertó el 16 de septiembre de 1987 y entró en vigor el 1 de enero de 1989. Propone el desarrollo de las energías renovables, disminuir los impactos en la salud y el medio ambiente de la producción y consumo de energía, y el fomento de

una educación hacia el desarrollo sostenible.

- El Programa 21 de la ONU plantea el control de las sustancias que producen el agotamiento de la capa de ozono, en un plan de acción que engloba todas las cuestiones del desarrollo sostenible.

2.1. La normativa en Europa

En Europa, los problemas ambientales se vienen considerando desde hace décadas. A partir de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre medio ambiente celebrada en 1972 en París, se definió el primer programa de acción para el ambiente con el objetivo de adoptar políticas ambientales destinadas a direccionar las normativas y los programas de investigación científica de los estados miembros.

Para dar respuesta a estas actuaciones mundiales, la Unión Europea ha desarrollado normativas que se han traducido en directivas de obligado cumplimiento para introducirlas en la legislación de los países miembros, tendentes a la mejora de la eficiencia energética y a la seguridad y diversificación de los suministros, entre otras: la Directiva 93/76 de 13.09.93 (SAVE), el Libro Verde y, la más importante, la Directiva 2002/91/CE denominada *Energy Performance of Building Directive* (EPBD). Esta última, publicada por el Parlamento Europeo y el Consejo sobre el rendimiento energético, disponía la necesidad de acelerar las acciones de ahorro energético y reducir las diferencias entre los distintos Estados mediante las disposiciones legislativas reglamentarias y administrativas de cada uno de los países miembros. Era el nacimiento de la Certificación Energética; es decir, se instituía la obligación de poner a disposición de los compradores o usuarios de edificios un certificado de eficiencia energética. Actualmente, la Unión Europea tiene

dos prioridades básicas: la eficiencia energética en viviendas y contribuir a la reducción de CO_2. Dicha Directiva ha sido sustituida por la Directiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 19 de mayo de 2010.

Por otro lado, en la reunión de la Comisión de las Comunidades Europeas celebrada en Bruselas, el 13 de noviembre de 2008, denominada: «Eficiencia energética: alcanzar el objetivo del 20%», se creó la iniciativa 20/20/20, en la que los Estados miembros se comprometieron a reducir de cara al 2020 un 20% el consumo de energía primaria de la Unión Europea, reducir otro 20% las emisiones de gases de efecto invernadero y elevar la contribución de las energías renovables al 20% del consumo. Además, estas medidas sirven para disminuir nuestra dependencia energética así como para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, a la vez que suponen una aproximación al cumplimiento del Protocolo de Kioto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.

En España, la situación era muy distinta de la del resto de Europa. Desde 1957, la preparación de la Normativa Técnica de la Edificación (antiguas normas MV) pasa a ser responsabilidad del Ministerio de la Vivienda, tarea que venía desarrollando la Dirección General de Arquitectura del Ministerio de Gobernación, creada en 1937. En 1977 el Gobierno aprobó un marco unificado para la Normativa de la Edificación compuesto por:

- Normas Básicas de la Edificación (NBE), de obligado cumplimiento, dando rango de NBE y unificando las entonces vigentes normas básicas MV (Ministerio de Vivienda).
- Normas Tecnológicas de la Edificación (NTE), sin

carácter obligatorio, aprobadas en esa misma década, que servían para el desarrollo operativo de las NBE y constituían un compendio de soluciones constructivas tradicionales.

- Soluciones Homologadas de la Edificación (SHE), cuyo desarrollo no se ha producido; habrían complementado, en el campo de las soluciones constructivas convencionales o tradicionales, los Documentos de Idoneidad Técnica (DIT), evaluaciones técnicas favorables para las soluciones innovadoras otorgadas por el Instituto Eduardo Torroja.

De este compendio de normas se ha de destacar la NBE-CT-79 (condiciones térmicas en los edificios), que ha estado en vigor hasta 2006 y que ha sido sustituida y derogada por la CTE-HE-1 (limitación de la demanda energética), de la que hablaremos a continuación.

En España, dicha directiva de eficiencia energética se ha traspuesto a la reglamentación española mediante el RD 314/2006, de 17 de marzo, por el que se desarrolla el Código Técnico de la Edificación (CTE) y las dos actualizaciones y publicaciones de los documentos complementarios:

- El RD 1027/2007, de 20 de julio, por el que se desarrolla el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE) y su corrección de errores, (BOE núm. 51 de 28 de febrero de 2008). Modificado por el RD 238/2013 de 5 de abril (BOE núm. 89 de 13 de abril de 2013).

- El RD 235/2013, de 5 de abril, sobre la Calificación Energética, que sustituye al RD 47/2007 de 19 de enero.

Estos tres momentos históricos de publicación son los tres pilares fundamentales de la transposición de la Directiva EPBD a la Reglamentación española.

La Ley de Ordenación de la Edificación (LOE) se creó en 1999 y, entre sus requisitos básicos, establece que los edificios se proyecten de tal forma que no se deteriore el medio ambiente y que se consiga un uso racional de la energía necesaria para la utilización del edificio, mediante el ahorro de energía y el aislamiento térmico. Se culminó con la aparición del CTE (Código Técnico de la Edificación), aprobado el 17 de marzo de 2006, cuyo objetivo es fijar las exigencias básicas de calidad así como los procedimientos para ejecutarlas con suficientes garantías técnicas, que deben cumplir los edificios para satisfacer, entre otros, los requisitos básicos de ahorro de energía y aislamiento térmico. La aprobación del Código Técnico de la Edificación supuso la modernización del marco normativo de la edificación en España, establecido por las anteriores Normas Básicas de la Edificación, creadas como disposiciones de obligado cumplimiento en el proyecto y la ejecución de los edificios. Pero además de la creación del CTE, hay que citar la aprobación del Real Decreto 47/2007, por el que se implanta el procedimiento básico para la calificación de la eficiencia energética de los edificios de nueva construcción. Se estima que la puesta en práctica de esta medida conducirá a un ahorro próximo al 20% respecto al consumo actual.

En materia de energía, el CTE permite satisfacer, entre otros, los requisitos básicos de ahorro de energía y aislamiento térmico contemplados en el artículo 3 de la Ley 38/1999, de 5 de diciembre, de Ordenación de la Edificación (LOE).

Junto con el Código Técnico de la Edificación, Documento

Básico «Ahorro de Energía», se presentó el procedimiento básico para la certificación energética de los edificios, en el Real Decreto 47/2007, por el que se aprueba finalmente la calificación energética de los edificios. Dicho certificado deberá incluir información objetiva sobre las características energéticas de los edificios, de manera que se pueda valorar y comparar su eficiencia energética, con el fin de favorecer la promoción de edificios de alta eficiencia energética y las inversiones en ahorro de energía.

2.2. El Código Técnico en la eficiencia energética

El Código Técnico de la Edificación CTE, como hemos dicho, fue aprobado por el Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, el preámbulo del cual dice que el CTE se divide en dos partes, ambas de carácter reglamentario. En la primera se definen las disposiciones de carácter general (ámbito de aplicación, estructura, clasificación de usos, etc.) y las exigencias que deben cumplir los edificios para satisfacer los requisitos de seguridad y habitabilidad de la edificación. La segunda parte está constituida por los Documentos Básicos cuya adecuada utilización garantiza el cumplimiento de las exigencias básicas.

La Directiva 2009/28/CE del Parlamento Europeo relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables establece la obligatoriedad de exigir en estas normas el uso de niveles mínimos de energía procedente de fuentes renovables en los edificios nuevos y en los ya existentes que sean objeto de una renovación importante.

Con posterioridad, la Directiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo relativa a la eficiencia energética de los edificios ha modificado y refundido la Directiva 2002/91/CE del Parlamento Europeo, circunstancia que hace necesario

transponer de nuevo al ordenamiento jurídico español las modificaciones que introduce con respecto a la anterior.

Considerando todo lo anterior, mediante esta disposición se actualiza el Documento Básico del CTE DB-HE de 2006 relativo al ahorro energético y se transpone parcialmente al ordenamiento jurídico español la Directiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo referente a los requisitos de eficiencia energética de los edificios, así como la Directiva 2009/28/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 23 de abril de 2009 sobre la exigencia de niveles mínimos de energía procedente de fuentes renovables en los edificios.

La nueva directiva 2010/31/UE no solo plantea la obligatoriedad de fijar unos requisitos mínimos de eficiencia energética en los edificios o en partes de los mismos, con el fin de alcanzar niveles óptimos de rentabilidad, sino también la obligatoriedad de que, antes del 31 de diciembre de 2020, todos los nuevos edificios tengan un consumo de energía casi nulo, y antes de que termine el 2018, los edificios nuevos que estén ocupados y sean propiedad de autoridades públicas sean igualmente edificios de consumo de energía casi nulo. Para ello será necesario acordar previamente una definición de ámbito nacional del concepto «edificio de consumo de energía casi nulo», determinándose el correspondiente nivel de eficiencia energética así como el porcentaje de la energía requerida que deberá cubrirse con energía procedente de fuentes renovables.

En el Código Técnico de la Edificación se ha desarrollado toda la reglamentación básica que deben cumplir los edificios, en relación con los requisitos básicos correspondientes a la seguridad y habitabilidad, que se enunciaban en la ley 38/1999 de Ordenación de la Edificación. Estos requisitos se estructuran en dos bloques:

Seguridad

- SE Seguridad estructural
- SI Seguridad frente a incendios
- SUA Seguridad de utilización y accesibilidad

Habitabilidad

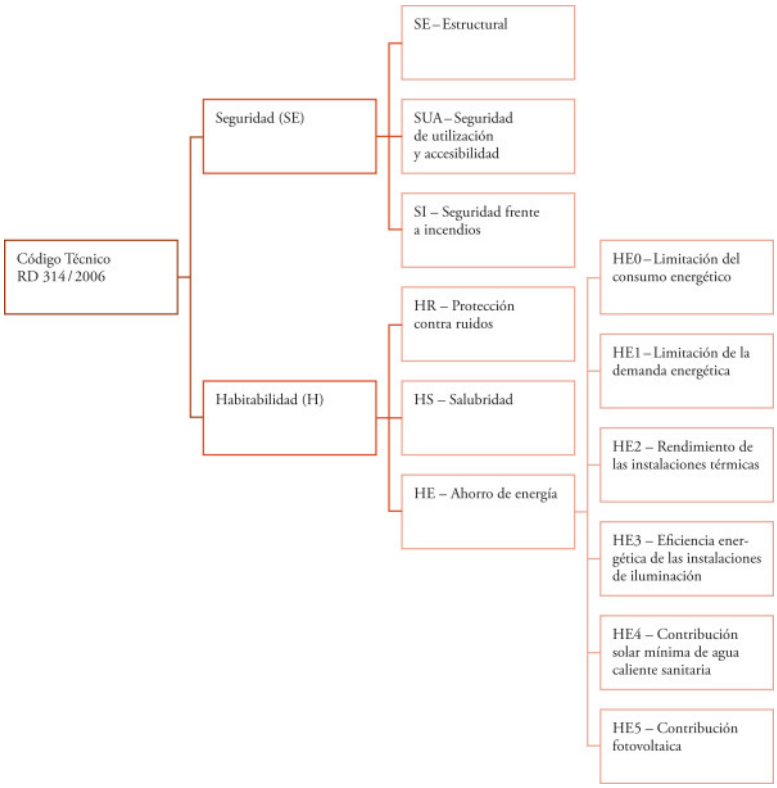
- HS Salubridad
- HR Protección contra ruidos
- HE Ahorro de energía

Para complementar la aplicación del Código se crean los Documentos Reconocidos, que se definen como aquellos documentos técnicos externos e independientes del Código, sin carácter reglamentario, cuya utilización facilita el cumplimiento de determinadas exigencias y contribuyen al fomento de la calidad de la edificación, debiendo tener el reconocimiento del Ministerio de Fomento, que mantendrá un registro público de los mismos.

En la dirección de la nueva Directiva 2010/31/UE, la actualización del Documento Básico de Ahorro de Energía (DB-HE) —aprobado mediante esta disposición— y las exigencias que en el mismo se estipulan, junto con la nueva actualización del DB-HE del 12 septiembre de 2013, constituyen la primera fase de aproximación al objetivo de conseguir «edificios de consumo de energía casi nulo».

Nos centraremos en el HE Ahorro de Energía y en la nueva actualización realizada, que es el documento que aborda el tema energético que nos interesa.

La composición del Código Técnico queda expresada en la figura 2.1., haciendo especial atención a la parte energética



El objetivo del requisito básico «ahorro de energía» del CTE consiste en lograr un uso racional de la energía necesaria para la utilización de los edificios, reduciendo a límites sostenibles su consumo y conseguir asimismo que una parte de este consumo proceda de fuentes de energía renovable.

Para satisfacer este objetivo, los edificios se proyectarán, construirán, utilizarán y mantendrán de manera que se cumplan las exigencias básicas establecidas en los apartados siguientes.

El DB-HE dice en su introducción:

> «Este Documento Básico (DB) tiene por objeto establecer reglas y procedimientos que permiten cumplir el requisito básico de ahorro de energía. Las secciones de este DB se corresponden con las exigencias básicas HE–1 a HE–5, y la sección HE–0 que se relaciona con varias de las anteriores. La correcta aplicación de cada sección supone el cumplimiento de la exigencia básica correspondiente. La correcta aplicación del conjunto del DB supone que se satisface el requisito básico «ahorro de

energía».»

> *El objetivo del requisito básico «ahorro de energía» consiste en conseguir un uso racional de la energía necesaria para la utilización de los edificios, reduciendo a límites sostenibles su consumo y conseguir asimismo que una parte de este consumo proceda de fuentes de energía renovable, como consecuencia de las características de su proyecto, construcción, uso y mantenimiento. Para satisfacer este objetivo, los edificios se proyectarán, construirán, utilizarán y mantendrán de forma que se cumplan las exigencias básicas que se establecen en los apartados siguientes. El Documento Básico «DB HE Ahorro de energía» especifica parámetros objetivos y procedimientos cuyo cumplimiento asegura la satisfacción de las exigencias básicas y la superación de los niveles mínimos de calidad propios del requisito básico de ahorro de energía.*

Las nuevas exigencias básicas de ahorro de energía (HE), definidas en el artículo 15, son cinco:

HE-0: Limitación del consumo energético.

Este documento explica el cálculo del consumo energético de energía primaria de un edificio, nuevo o existente, que se limita en función de la zona climática de su localidad de ubicación y del uso previsto. Actúa como indicativo de la calificación energética de dicho inmueble, estableciendo que debe tener una eficiencia igual o superior a la clase B, según el procedimiento básico para la certificación de la eficiencia energética de los edificios, aprobado mediante el Real Decreto 235/2013.

HE-1: Limitación de demanda energética.

«Los edificios dispondrán de una envolvente de características tales que limite adecuadamente la demanda

energética necesaria para alcanzar el bienestar térmico en función del clima de la localidad, del uso del edificio y del régimen de verano y de invierno, así como por sus características de aislamiento e inercia, permeabilidad al aire y exposición a la radiación solar, reduciendo el riesgo de aparición de humedades de condensación superficiales e intersticiales que puedan perjudicar sus características y tratando adecuadamente los puentes térmicos para limitar las pérdidas o ganancias de calor y evitar problemas higrotérmicos en los mismos.»

HE-2: Rendimiento de las instalaciones térmicas.

«Los edificios dispondrán de instalaciones térmicas apropiadas destinadas a proporcionar el bienestar térmico de sus ocupantes, regulando el rendimiento de las mismas y de sus equipos. Esta exigencia se desarrolla en el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los edificios (RITE) Real Decreto 1027/2007, de 20 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios.»

HE-3: Eficiencia energética de las instalaciones de iluminación.

«Los edificios dispondrán de instalaciones de iluminación adecuadas a las necesidades de sus usuarios y a la vez eficaces energéticamente disponiendo de un sistema de control que permita ajustar el encendido a la ocupación real de la zona, así como de un sistema de regulación que optimice el aprovechamiento de la luz natural, en las zonas que reúnan unas determinadas condiciones.»

HE-4: Contribución solar mínima de agua caliente sanitaria.

«En los edificios con previsión de demanda de agua caliente sanitaria o de climatización de piscina cubierta, en los que así se establezca en este CTE, una parte de las necesidades energéticas térmicas derivadas de esa demanda se cubrirá mediante la incorporación en los mismos de sistemas de captación, almacenamiento y utilización de energía solar de baja temperatura adecuada a la radiación solar global de su emplazamiento y a la demanda de agua caliente del edificio.»

Los valores derivados de esta exigencia básica tendrán la consideración de mínimos, sin perjuicio de valores que puedan ser establecidos por las administraciones competentes y que contribuyan a la sostenibilidad, atendiendo a las características propias de su localización y ámbito territorial.

HE-5: Contribución fotovoltaica mínima de energía eléctrica.

«En los edificios que así se establezca en este CTE se incorporarán sistemas de captación y transformación de energía solar en energía eléctrica por procedimientos fotovoltaicos para uso propio o suministro a la red. Los valores derivados de esta exigencia básica tendrán la consideración de mínimos, sin perjuicio de valores más estrictos que puedan ser establecidos por las administraciones competentes y que contribuyan a la sostenibilidad, atendiendo a las características propias de su localización y ámbito territorial.»

2.3. Actualización del CTE-HE-2013: Limitación de la demanda energética

Con el fin de acercarnos aún más a las nuevas directivas europeas que plantean un ahorro de energía de los edificios cada vez más exigentes, el 12 de abril de 2013 entró en vigor

la nueva actualización del CTE-HE, con profundos cambios que trataremos de explicar en este punto. En esta nueva modificación se adoptan medidas para reducir la dependencia energética así como las emisiones de gases de efecto invernadero, dentro del denominado «objetivo 20-20-20».

Las modificaciones más relevantes de esta nueva actualización se encuentran en las secciones referentes a la limitación del consumo y de la demanda, si bien hay modificaciones de menor alcance en el resto de las secciones, excepto la HE-2, desarrollada en el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE).

- Se crea una nueva sección HE-0: Limitación del consumo energético, cuyo objetivo es calcular el consumo energético de energía primaria de un edificio, nuevo o existente, en función de la zona climática de su localidad de ubicación y del uso previsto.
- Modificación del documento básico HE-1: Limitación de la demanda energética.

La sección HE-1 cambia notablemente su carácter pasando a especificar valores límites de demanda y modificando, por tanto, la forma de verificar la exigencia.

La demanda energética de los edificios se calcula en función de la zona climática de la localidad en que se ubican y del uso previsto. Se limitará la transferencia de calor entre unidades de distinto uso, y entre las unidades de uso y las zonas comunes del edificio, así como los riesgos debidos a procesos que produzcan una merma significativa de las prestaciones térmicas o de la vida útil de los elementos que componen la envolvente térmica, tales como las condensaciones.

Además, desaparecen las fichas justificativas de la opción simplificada. La justificación por tanto del documento se haría mediante procedimiento informáticos o bien manualmente, como se verá en el próximo capítulo.

La HE-1 se complementa con dos documentos de apoyo, documentos que previamente venían en el anexo del Documento básico. Son los siguientes:

- *DA-DB-HE / 1. Cálculo de parámetros característicos de la envolvente.*
  Este documento describe varios métodos simplificados que se pueden emplear para el cálculo de los parámetros característicos de los diferentes elementos que componen la envolvente térmica del edificio, lo que no impide el uso de otros métodos contrastados, ya sean simplificados o detallados.

- *DA-DB-HE / 2. Comprobación de la limitación de condensaciones superficiales e intersticiales en los cerramientos.*Este documento describe algunos procedimientos que se pueden emplear para la comprobación de la limitación de condensaciones superficiales e intersticiales en espacios habitables establecida en los documentos básicos DB-HE y DB-HS del CTE, lo que no impide el uso de otros métodos, detallados o simplificados, que permitan llevar a cabo dichas comprobaciones con suficiente solvencia técnica

- *Sección HE-4. Contribución solar mínima de agua caliente sanitaria.*
  La Sección HE-4 Contribución solar mínima de agua caliente sanitaria, introduce algunas modificaciones en cuanto a su aplicación a edificios existentes 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 y exista una demanda de ACS superior a 50 l/d. Se aplica también a ampliaciones o intervenciones 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.
Se modifican algunos valores unitarios de la demanda de referencia a 60 ºC, y se regula la contribución solar mínima anual en tramos más amplios y sin distinguir en el combustible del equipo auxiliar de apoyo.

- *Sección HE-5. Contribución fotovoltaica mínima de energía eléctrica.*
  Varía su ámbito de aplicación unificando a 5.000 m^2 de superficie construida la superficie de cada uso tanto en edificios de nueva construcción como en edificios existentes que se reformen íntegramente, o en los que se produzca un cambio de uso característico del mismo. Se considerará que la superficie construida incluye la superficie del aparcamiento subterráneo y excluye las zonas exteriores comunes.
  La potencia nominal mínima a instalar se calcula directamente en función de coeficiente climático y de la superficie construida del edificio.

De estas cinco secciones nos centraremos en la primera, HE-1, Limitación de la demanda energética, que es la que desarrolla y define los conceptos de la transmitancia térmica de la envolvente, y desarrollaremos también el nuevo documento básico HE-0, Limitación del consumo energético.

3. Demanda energética de la envolvente.

3.1. Ganancias y pérdidas en la envolvente

La onda energética llega al cerramiento en forma de luz y calor. Deben estudiarse por separado, porque tanto la luz como el calor afectan a la envolvente de un modo distinto.

Los modos de transferencia de la luz son tres: absorción, reflexión y transmisión. Cuando la luz llega a un objeto, pueden pasar tres cosas diferentes: que sea absorbida, reflejada o transmitida, en mayor o menor medida, según se trate de un cerramiento opaco o transparente.

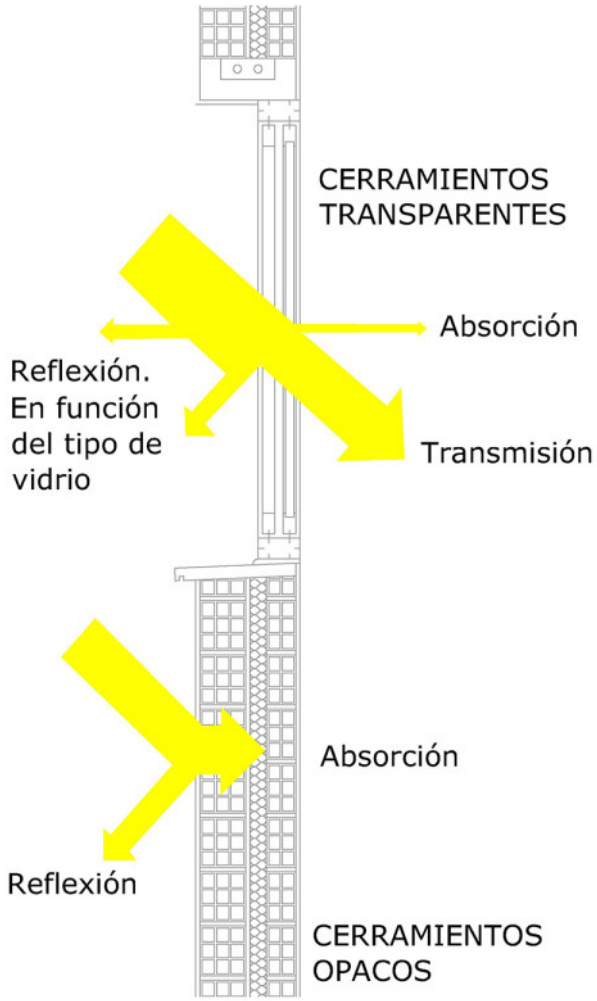


Figura 3.1 Comparación del flujo energético entre un cerramiento opaco y uno transparente.

La figura 3.1 profundiza en lo ya definido anteriormente

acerca de los mecanismos de la incidencia de la radiación solar sobre una envolvente. El esquema refleja como parte de la energía absorbida por el material viene luego rebotada, sea hacia el interior, sea hacia el exterior, en función de las condiciones de confort interiores, de las medioambientales y, sobre todo, de la naturaleza del material y el espesor del mismo.

La forma de energía denominada calor se transmite de un cuerpo a otro siempre que exista una diferencia de temperatura entre ambos. El traspaso de calor se presenta de tres formas distintas: conducción, convección y radiación.

Conducción

Se denomina conducción a la transmisión de calor por un cuerpo que se produce sin desplazamiento de moléculas. El calor se transmite por conducción a través de un medio material (sólido, líquido o gas). Las moléculas calientes comunican parte de su energía de vibración a sus vecinas más frías, continuando dicho proceso a lo largo de todo el material.

Si esta transmisión es estacionaria o uniforme, podemos establecer que, en un punto cualquiera del cuerpo conductor de calor, la temperatura permanece constante en el tiempo si el flujo de calor que atraviesa el conductor permanece constante.

Convección

Esta forma de transmisión del calor es propia de líquidos y gases, y se denomina convección cuando la transmisión de calor por un cuerpo se realiza con desplazamiento de sus moléculas. La energía calorífica que desprende el emisor

calienta el aire más próximo, que, por este motivo, disminuye de peso específico y asciende. El empuje natural del aire caliente ascendente desplaza el frío, que, a su vez, aumenta de temperatura. A medida que el proceso continúa, el volumen del aire del local se calienta progresivamente. A mayor diferencia de temperatura, mayor será el proceso de convección.

Es la forma peculiar de transmisión del calor en el seno de los fluidos, de modo que podemos decir que si a través de un fluido se transmite un flujo determinado de calor, lo hará casi de forma exclusiva por convección.

Cuando las transferencias de calor por convección se realizan de forma natural, se habla de convección libre; mientras que se habla de convección forzada cuando se establece una corriente de circulación molecular a través de cualquier mecanismo, por ejemplo, un ventilador.

Radiación

Se denomina transmisión de calor por radiación cuando se realiza por ondas o rayos entre el foco y el cuerpo que se ha de calentar. La tierra, por ejemplo, recibe el calor del sol en forma de energía de radiación.

La transmisión por conducción y convección es la causa de las pérdidas de calor por transmisión a través de los materiales empleados en construcción, debidas a la diferencia de temperatura entre las superficies.

Si aplicamos los diferentes modos de transmisión de calor explicados anteriormente a un cerramiento, el calor pasará del ambiente más cálido (un fluido) a la pared, y lo hará

principalmente por convección; atravesará la pared (un sólido) mediante conducción y por último pasará de la pared al ambiente frío (un fluido) por convección.

Cada material constructivo ofrece una determinada resistencia al paso de calor a través de sí mismo. Algunos, como el vidrio sencillo, resultan más fáciles de atravesar, mientras que otros, como los materiales aislantes, oponen una mayor resistencia. El valor de esta resistencia se denomina conductividad térmica λ, que es la expresión numérica de la facilidad o dificultad que un material ofrece a la transmisión de calor.

Un material viene caracterizado perfectamente por su coeficiente de transmisión térmica U, que, dicho en otras palabras, define su aislamiento. Así, cuanto más baja es su transmisión de calor, más alto es su aislamiento, y viceversa, cuanto más alta es, más bajo es su aislamiento. La transmisión térmica es directamente proporcional a la conductividad térmica e inversamente proporcional al espesor. Materiales con una alta conductividad térmica, es decir, que transmiten muy bien el calor, tienen una alta ganancia o captación de ese calor, pero del mismo modo les resulta muy fácil perderlo.

Dicho coeficiente de conductividad térmica λ representa el poder de conducción del calor del material que se trate; esto es, la cantidad de calor que pasa a través de 1 m^2 de superficie y 1 mm de espesor durante una hora, cuando sus caras mantienen 1ºC de diferencia de temperaturas.

Así, por ejemplo, un material transparente tiene un coeficiente de transmisión de calor mucho más alto que el de un cerramiento opaco, por tanto, su aislamiento es mucho menor, por lo que tendría la misma facilidad para captar ese calor (captación de calor o ganancias de calor) que para

perderlo. Un material aislante tardaría mucho más en perderlo. Estamos hablando de una transmisión de calor del orden de 5 W/m^2K. Un material aislante tiene, sin embargo, una transmisión de calor muy baja, del orden de 0,036 W/m^2K.

Una vez hecha esta introducción, vamos a comenzar a desglosar lo que dice el Código Técnico en materia de energía, con el fin de que seamos capaces de entender y de realizar la verificación energética y el cumplimiento de las nuevas secciones HE-0 y HE-1.

3.2. Estudio de la envolvente según la HE-1

La demanda energética de un edificio depende de la envolvente, es decir, de la transmitancia de muros y huecos, de los puentes térmicos, de las condensaciones, etc.; en resumen, está limitada por el cumplimiento de la sección HE-1 del CTE. En la limitación de la demanda influyen las condiciones climáticas, fijadas también en la HE-1, pues es claro que no se requiere la misma envolvente en Almería, zona climática A4, que en Burgos, zona climática E1.

Por otro lado, la nueva actualización limita también la demanda energética de calefacción y refrigeración, como veremos más adelante.

La envolvente de un edificio, ya sea la opaca o la transparente, es la parte a través de la cual pasan la mayor parte de las pérdidas y ganancias de energías del interior del edificio.

Según el CTE, la envolvente térmica del edificio, como muestra la figura 3.2, está compuesta por todos los cerramientos que limitan los espacios habitables con el ambiente exterior (aire o terreno u otro edificio) y por todas

las particiones interiores que limitan los espacios habitables con los espacios no habitables que a su vez estén en contacto con el ambiente exterior.

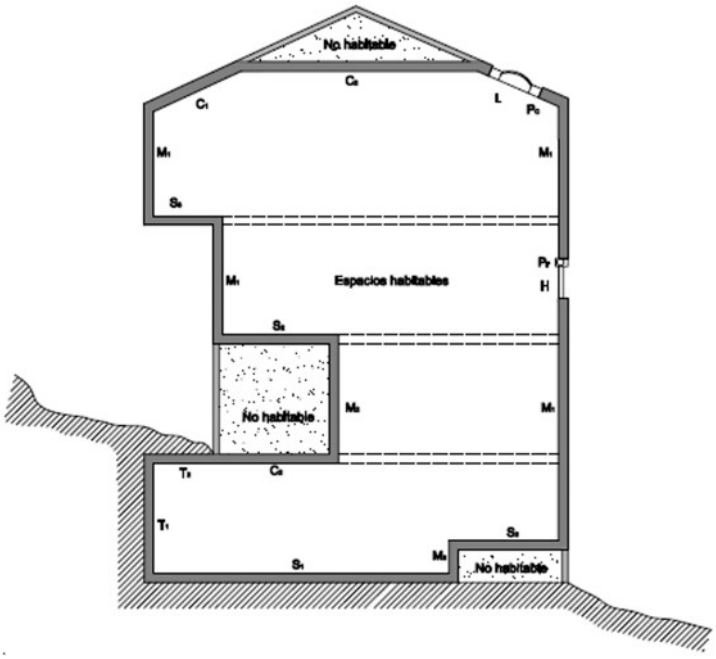


Figura 3.2 Esquema de la envolvente térmica de un edificio.
Fuente: CTE- HE-1 (2009).

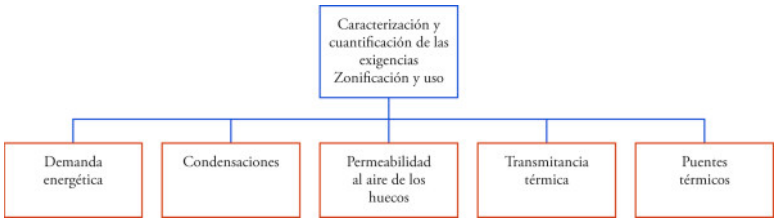
Los cerramientos de los espacios habitables se clasifican según su comportamiento térmico y el cálculo de los parámetros característicos en las siguientes categorías:

a) Cerramientos en contacto con el aire:
    i) parte opaca, constituida por muros de fachada, cubiertas, suelos en contacto con el aire y los puentes térmicos integrados,
    ii) parte semitransparente, constituida por huecos (ventanas y puertas) de fachada y lucernarios de cubiertas.
b) Cerramientos en contacto con el terreno, clasificados según los tipos siguientes:
    i) suelos en contacto con el terreno,
    ii) muros en contacto con el terreno,
    iii) cubiertas enterradas.

c) Particiones en contacto con espacios no habitables, clasificados según los tipos siguientes:
    i) particiones interiores en contacto con cualquier espacio no habitable (excepto cámaras sanitarias),
    ii) suelos en contacto con cámaras sanitarias.

3.2.1. Caracterización y cuantificación de las exigencias

El esquema siguiente (fig. 3.3) visualiza las exigencias que es preciso establecer en el proceso de verificación del cumplimiento de la limitación de la demanda energética que define la HE-1.



Como se observa en el cuadro, son cinco las partes que debemos desarrollar y que veremos a continuación: el cálculo de la demanda energética del edificio a través de su envolvente, incluyendo los puentes térmicos, las condensaciones, la transmitancia térmica y, por último, la permeabilidad al aire.

A continuación desarrollaremos cada uno de estos parámetros que figuran en el organigrama.

Zonificación climática

Está definida por el CTE como la zona para la que se definen unas solicitaciones exteriores comunes a efectos de cálculo de la *demanda energética*.

La zonificación climática se recoge en el Apéndice B, de la HE-1 (2013). (Tabla B1 para la Península y Baleares, y tabla

B2 para las Islas Canarias).

La zona climática donde se ubican los edificios se determina a partir de valores tabulados. En las localidades que no sean capitales de provincia y que dispongan de registros climáticos contrastados, se podrán emplear, previa justificación, zonas climáticas específicas.

Para la limitación de la demanda energética se establecen 12 zonas climáticas identificadas mediante:

- Una letra, correspondiente a la división de invierno A, B, C, D, E, y
- un número, correspondiente a la división de verano 1, 2, 3, 4.
- La nueva actualización incluye una nueva zona para las islas Canarias, denominada α. (Anteriormente se consideraba como A3, para una altura menor de 1.000 m, y B3 para alturas superiores.)

Cálculo de la demanda energética

Uno de los puntos más importantes para calcular la demanda energética es el cálculo de la envolvente del edificio, para ello hay que calcular su transmitancia térmica, que definiremos a continuación. Por otro lado, habrá que calcular las condensaciones, la permeabilidad al aire y los puentes térmicos, que también se definirán más adelante.

Cálculo de la demanda de calefacción y refrigeración

El cálculo de la demanda de refrigeración y calefacción del edificio se hará siguiendo un procedimiento manual mediante un cálculo simplificado, o bien mediante una simulación de un modelo térmico por ordenador, teniendo

en cuenta los siguientes datos:

- Solicitaciones exteriores. Son las acciones del clima sobre el edificio con efecto en su comportamiento térmico y, por tanto, sobre la demanda energética (apéndice B).
- Solicitaciones interiores. Son las cargas térmicas generadas en el interior del edificio, debidas a los aportes de energía de los ocupantes, equipos e iluminación.
- Condiciones operacionales definidas por los siguientes parámetros y recogidas en el apéndice C.
    a) temperaturas de consigna de calefacción,
    b) temperaturas de consigna de refrigeración,
    c) carga interna debida a la ocupación,
    d) carga interna debida a la iluminación,
    e) carga interna debida a los equipos.

El cálculo consiste en determinar la demanda energética de calefacción y refrigeración necesaria para mantener el edificio durante un año en las condiciones operacionales definidas anteriormente.

El Código no define ningún procedimiento simplificado para hacer el cálculo y deja abierto el programa de simulación que pueda usarse, pero hasta el momento los únicos programas reconocidos son Lider, para el cálculo de la limitación de la demanda energética, y Calener, para obtener su calificación energética.

Cálculo de la transmitancia térmica

El otro parámetro determinante para definir la limitación de la demanda energética es la carga interna de los espacios, definida por la transmitancia térmica.

De acuerdo con el CTE, la transmitancia térmica U se

calcula por el flujo de calor, en régimen estacionario, dividido por el área y por la diferencia de temperaturas de los medios situados a cada lado del elemento que se considera.

Este cálculo es aplicable a la parte opaca de todos los cerramientos en contacto con el aire exterior, tales como muros de fachada, cubiertas y suelos en contacto con el aire exterior, compuestos por diversos materiales de espesor e y conductividad térmica λ.

La transmitancia térmica U (W/m^2K) viene dada por la siguiente expresión:

$$U = \frac{1}{R_T}$$

Siendo

RT la resistencia térmica total del componente constructivo [m^2K/W].

La resistencia térmica total RT de un componente constituido por capas térmicamente homogéneas debe calcularse mediante la expresión:

$$RT = R_{si} + R_1 + R_2 \ldots R_n + R_{se}$$

Siendo R1, R2… Rn las resistencias térmicas de cada capa definidas según la expresión [m^2K/W];

Rsi y Rse [m^2K/W] son las resistencias térmicas superficiales correspondientes al aire interior y exterior respectivamente, tomadas de la tabla E.1, de acuerdo con la posición del cerramiento y según la dirección del flujo de calor y su situación en el edificio. Así, la tabla queda dividida en cerramientos verticales (fachadas) y cerramientos horizontales (forjados y cubiertas).

Tabla 3.1 Resistencias térmicas superficiales de cerramientos en contacto con el aire exterior en m^2K/W. Procedente CTE-HE-1 (2013) tabla 1, DA DB HE-1 Cálculo de parámetros característicos de la envolvente.

Posición del cerramiento y sentido del flujo de calor		R_{SE} (m^2K/W)	R_{SI} (m^2K/W)
Cerramiento vertical y flujo horizontal	→	0.04	0.13
Cerramiento horizontal y flujo ascendente	↑	0.04	0.10
Cerramiento horizontal y flujo descendente	↓	0.04	0.17

La resistencia térmica de una capa térmicamente homogénea viene definida por la expresión:

$$R = \frac{e}{\lambda}$$

Siendo

e: el espesor de la capa [m]. En el caso de una capa de espesor variable, se considerará el espesor medio, y

λ: la conductividad térmica del material que compone la capa, calculada a partir de los valores térmicos declarados según la norma UNE EN ISO 10 456:2001 o tomada de documentos reconocidos [W/mK].

La expresión final del cálculo de U sería la siguiente:

$$\frac{1}{U} = R_E + \frac{e_1}{\lambda_1} + \frac{e_2}{\lambda_2} + \ldots + R_i$$

Cámaras de aire

Cuando las cámaras de aire están integradas en los cerramientos, se consideran y calculan según su resistencia térmica, distinguiendo para ello tres tipos:

a) Cámara de aire sin ventilar es en la que no existe ningún

sistema específico para el flujo del aire a través de ella. Estas cámaras pueden tener pequeñas aberturas en contacto con el exterior y no deben sobrepasar los siguientes valores:

- 500 mm^2 por m de longitud contado horizontalmente para cámaras de aire verticales;
- 500 mm^2 por m^2 de superficie para cámaras de aire horizontales.

La resistencia térmica de las cámaras de aires sin ventilar en m^2K/W, se presenta en la tabla 2 de la DA DB HE-1, definida a continuación en función del espesor. Los valores intermedios se pueden obtener por interpolación.

Tabla 3.2 Resistencias térmicas de cámaras de aire en m^2K/W. Procedente de la tabla 2, DA DB HE-1

Espesor (cm)	Cámara de aire sin ventilar	
	Cámara horizontal	Cámara vertical
1	0,15	0,15
2	0,16	0,17
5	0,16	0,18

b) Cámara de aire ligeramente ventilada: se define igual que la anterior, pero las limitaciones en las aberturas son mayores:

- 500 mm^2 < superficie aberturas ≤ 1500 mm^2 por m de longitud contado horizontalmente para cámaras de aire verticales;
- 500 mm^2 < superficie aberturas ≤ 1500 mm^2 por m^2 de superficie para cámaras de aire horizontales.

La resistencia térmica de una cámara de aire ligeramente

ventilada es la mitad de los valores de la tabla E.2.

c) Cámara de aire muy ventilada es aquella en la que los valores de las aberturas exceden:

- 1.500 mm^2 por m de longitud contado horizontalmente para cámaras de aire verticales;
- 1.500 mm^2 por m^2 de superficie para cámaras de aire horizontales.

El cálculo de estas últimas es bastante complejo, por lo que se recomienda el uso de otros programas informáticos. El CTE expone que:

> 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.

Se ha explicado el cálculo de la transmitancia térmica más sencilla y común: el de un paramento vertical exterior. En el capítulo 4 se desarrollan varios ejemplos completos de fachada. El cálculo de otros tipos de muros, como cerramientos o muros en contacto con el terreno, o particiones interiores en contacto con espacios no habitables, se efectúa del mismo modo, pero aplicando otros valores de resistencias. Véase la DA-DB HE-1 – Cálculo de parámetros característicos de la envolvente.

Huecos y lucernarios

Como se ha dicho anteriormente, cuando la radiación solar incide sobre un material, hay una parte que es transmitida, absorbida y reflejada de acuerdo con diversos parámetros de la radiación solar, tales como la distribución espectral, el ángulo de incidencia y la naturaleza del material. Veamos cada uno de ellos.

- Transmitancia τ: relación entre la radiación que atraviesa un material y la radiación incidente.
- Reflectancia ρ: relación entre la radiación reflejada del material y la radiación incidente.
- Absortancia α: relación entre la radiación absorbida del material y la radiación incidente.

Existiendo siempre la siguiente relación para los tres coeficientes:

$$\tau + \rho + \alpha = 1$$

Los valores de los parámetros ópticos varían sensiblemente en función del ángulo de incidencia. De hecho, la transmitancia mantiene valores constantes hasta ángulos en torno a 30º y comienza a disminuir hasta anularse a 90º. La reflectancia tiene un comportamiento complementario, con un mínimo de incidencia normal a 30º, y aumenta progresivamente hasta llegar a un valor 1 a los 90º. La absortancia varía con el recorrido óptico de la radiación en el interior del material.

Es necesario definir además el coeficiente *g*. Se trata del coeficiente de transmisión total de energía solar, o comúnmente denominado factor solar, que indica la cantidad de energía globalmente transmitida a través del material con respecto a la energía solar incidente.

Cabe hacer notar que si bien puede ser conveniente que el factor solar sea alto o bajo en función de la aplicación deseada, la transmitancia térmica U tiene que ser siempre la más baja posible. De hecho, es un indicador de la capacidad del material de oponerse al flujo térmico, debido a la diferencia de temperatura, y de su capacidad aislante.

Son, por tanto, los dos factores fundamentales que se han de considerar a la hora de analizar los distintos tipos de vidrios, tal y como vamos a estudiar en el siguiente punto.

Una vez definidos los parámetros básicos, pasemos a ver la parte de la HE-1, apéndice E, en relación con los huecos y lucernarios, un punto importante para el cumplimiento de las exigencias básicas, como se ha visto anteriormente, en el que no solo es el vidrio el que desempeña un papel importante, sino también el marco.

El marco representa habitualmente entre el 25% y el 35% de la superficie del hueco. Sus principales propiedades, desde el punto de vista del aislamiento térmico, son la transmitancia térmica y su absortividad. Estas dos propiedades participan, en función de la fracción de superficie ocupada por el marco, en la transmitancia total del hueco y el factor solar modificado del mismo, como veremos a continuación.

Transmitancia térmica de los huecos

La transmitancia térmica de los huecos UH (W/m^2K) se determinará mediante la siguiente expresión:

$$U_H = (1 - FM)xU_V + FMxU_M$$

Siendo

- U_V la transmitancia térmica de la parte semitransparente [W/m^2K]. Los valores pueden obtenerse del propio fabricante, del programa LIDER o del libro *Manual del Vidrio* de Saint Gobain Glass.
- U_M la transmitancia térmica del marco de la ventana, lucernario o puerta [W/m^2K]. Los valores pueden ser obtenidos del propio fabricante.
- FM la fracción del hueco ocupada por el marco. Generalmente oscila entre un 25 y 30%, por lo que su participación es baja con respecto al vidrio.

En ausencia de datos, la transmitancia térmica de la parte semitransparente U_V podrá obtenerse aplicando la norma UNE EN ISO 10 077-1:2001.

Factor solar modificado de huecos y lucernarios

Es definido por el CTE como *el producto del factor solar por el factor de sombra.*

Como ya se ha explicado, el factor solar del vidrio es la relación entre la energía total que entra en un local a través del acristalamiento y la energía solar que incide en la superficie exterior de dicho vidrio; será siempre un valor inferior a la unidad.

El factor de sombra es la fracción de la radiación incidente en un hueco que no es bloqueada por la presencia de obstáculos de fachada, tales como retranqueos, voladizos, toldos, salientes laterales u otros.

El factor solar modificado en el hueco FH o en el lucernario FL se determinará utilizando la siguiente expresión, definida

en el CTE:

$$F = F_S[(1 - FM)g + FMx0.04U_m\alpha$$

Siendo

- F_S: el factor de sombra del hueco o lucernario. Valor adimensional que oscila entre 0 y 1, y que podemos obtenerlo bien en las tablas de la E.11 a la E.15, del apéndice E, de la HE-1, en función del dispositivo de sombra (voladizo, retranqueo, lamas y toldos), o bien mediante simulación. En el caso de que no se justifique adecuadamente el valor de $F_{s,}$ se debe considerar igual a la unidad.
- FM: la fracción del hueco ocupada por el marco en el caso de las ventanas o la fracción de la parte maciza en el caso de puertas.
- g: el factor solar de la parte semitransparente del hueco o lucernario. Es definido por el CTE como cociente entre la radiación solar a incidencia normal que se introduce en el edificio a través del acristalamiento y la que se introduciría si el acristalamiento se sustituyese por un hueco perfectamente transparente
- U_m la transmitancia térmica del marco del hueco o lucernario [W/m^2 K];
- α la absortividad del marco.

La absortividad es la fracción de la radiación solar incidente en una superficie que es absorbida por la misma. Su valor varía desde 0,0 (0%) hasta 1,0 (100%), y depende del color de la superficie, pudiendo obtenerse en función de su color.

Tabla 3.3 Absortividad del marco para radiación solar α. Procedente de la tabla 10, DA- DB HE-1

Color	Claro	Medio	Oscuro
Blanco	0,20	0,30	----
Amarillo	0,30	0,50	0,70
Beige	0,35	0,55	0,75
Marrón	0,50	0,75	0,92
Rojo	0,65	0,80	0,90
Verde	0,40	0,70	0,88
Azul	0,50	0,80	0,95
Gris	0,40	0,65	——
Negro	——	0,96	——

La siguiente imagen (fig. 3.4) muestra los distintos dispositivos de sombras que la HE-1 describe. De cada uno de ellos hay una tabla con los distintos valores de factor de sombra en función de las dimensiones de cada uno de ellos. (Tablas 11 a 15 del DA-DB HE-1.)

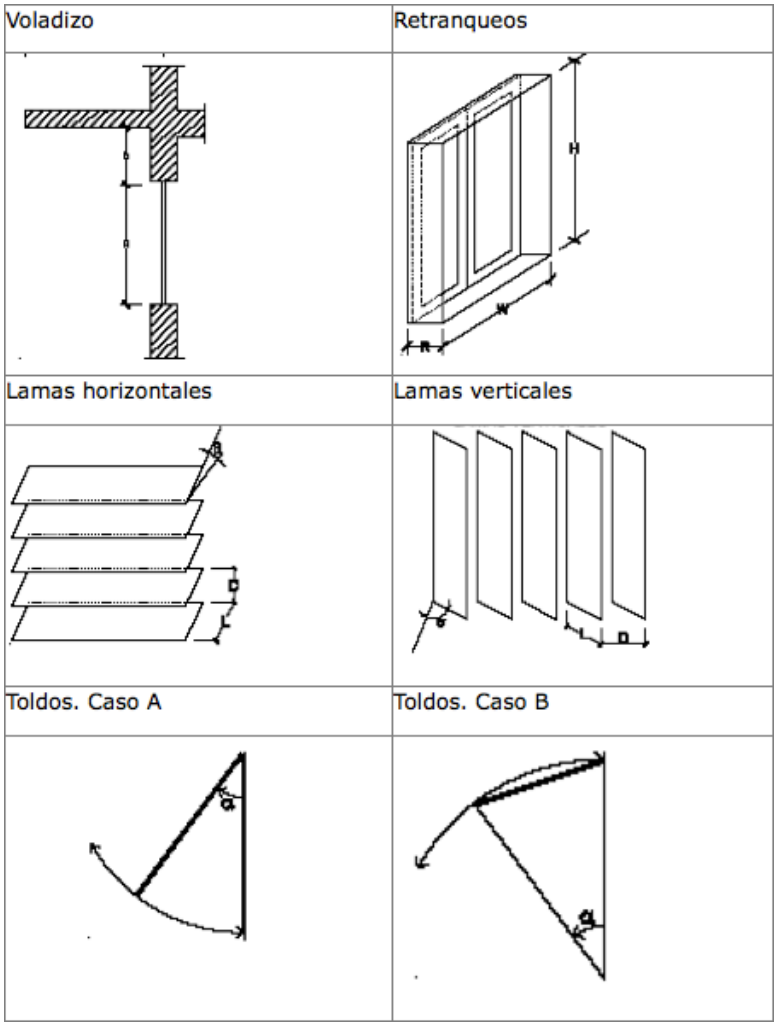


Figura 3.4 Dispositivos de sombra. Tabla E.11-15. DA DB HE-1

Puentes térmicos

La construcción de un edificio no es homogénea. Las zonas en las que la envolvente del edificio evidencia una variación de la uniformidad de la construcción y, por consiguiente, una minoración de la resistencia térmica respecto al resto de los cerramientos se denominan puentes térmicos.

Un puente térmico es una parte del cerramiento de un edificio donde la resistencia térmica, normalmente uniforme, cambia significativamente debido a:

- penetraciones completas o parciales en el cerramiento de un edificio, de materiales de diferente conductividad térmica o
- un cambio en el espesor de la fábrica o
- una diferencia entre las áreas interiores y las exteriores, tales como intersecciones de paredes, suelos o techos.

Al disminuir la resistencia térmica respecto al resto de los cerramientos, los puentes térmicos se convierten en partes sensibles de los edificios donde aumenta la posibilidad de producción de condensaciones superficiales, en la situación de invierno o temporadas frías.

Además de los problemas de condensación y formación de moho, degradación de los elementos constructivos y el peligro para la salud de los ocupantes, los puentes térmicos llevan consigo un incremento de las pérdidas de calor, que llegan a ser relativamente importantes cuanto más aislados estén del resto de los cerramientos.

Así pues, hay que considerar los siguientes aspectos:

- Un eventual incremento de pérdidas de calor cuando se calculen las cargas, necesidades energéticas y niveles de aislamiento del edificio.
- Un eventual riesgo de condensaciones y producción de moho resultante de la temperatura superficial interior de la zona del puente térmico.

Los puentes térmicos más comunes son de dos dimensiones y se conocen como puentes térmicos lineales. Se forman por la unión de dos o más elementos edificatorios (por ejemplo, una ventana en una pared o la intersección de dos cerramientos) o son los lugares donde la composición estructural de un elemento edificatorio está cambiando (por ejemplo, un pilar o una columna embebido en un cerramiento). Esto conlleva un cambio del flujo de calor y, por tanto, de la temperatura superficial en la cara interior de un elemento constructivo.

Los puentes térmicos más comunes en la edificación y que se tendrán en cuenta en el análisis podrían clasificarse así (véase la fig. 3.5):

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 el encuentro de cerramientos:

- frentes de forjado en las fachadas,
- uniones de cubiertas con fachadas,
- uniones de fachadas con cerramientos en contacto con el terreno,

- esquinas o encuentros de fachadas, dependiendo de la posición del ambiente exterior respecto del interior,
- encuentros de voladizos con fachadas,
- encuentros de la tabiquería interior con las fachadas.

Además de los puentes térmicos lineales, existen los puentes térmicos tridimensionales o puntuales. Estos se forman cuando un cerramiento aislado térmicamente es perforado por otro elemento con una alta conductividad térmica (punto de puente térmico) o por la intersección de tres esquinas.

Los puentes térmicos más característicos se muestran en la siguiente imagen:

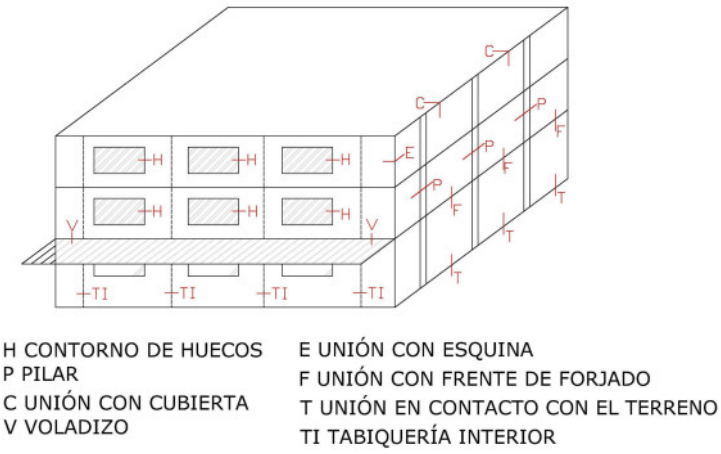


Figura 3.5 Visualización de un edificio con sus diferentes puentes térmicos

Así pues, para el cálculo tendremos que calcular las pérdidas de calor extra que se producen por estos lugares o puentes térmicos, pero que no podrán ser evaluadas a partir de cálculos de U unidimensionales para cerramientos homogéneos, como acabamos de ver.

A efectos de limitación de la demanda, y según la EH-1, se

incluirán en la consideración anterior solo los puentes térmicos cuya superficie sea superior a 0,5 m^2 y estén integrados en las fachadas, tales como pilares, contornos de huecos y cajas de persiana.

Veamos un ejemplo gráfico que nos ayudará a entender el concepto de puente térmico.

Analizaremos un cerramiento formado por perfiles de acero, compuesto de: chapa de aluminio, aislamiento EPS, contrachapado de alta densidad, perfiles de acero galvanizado, poliuretano expandido y contrachapado de alta densidad (figs. 3.6 y 3.7).

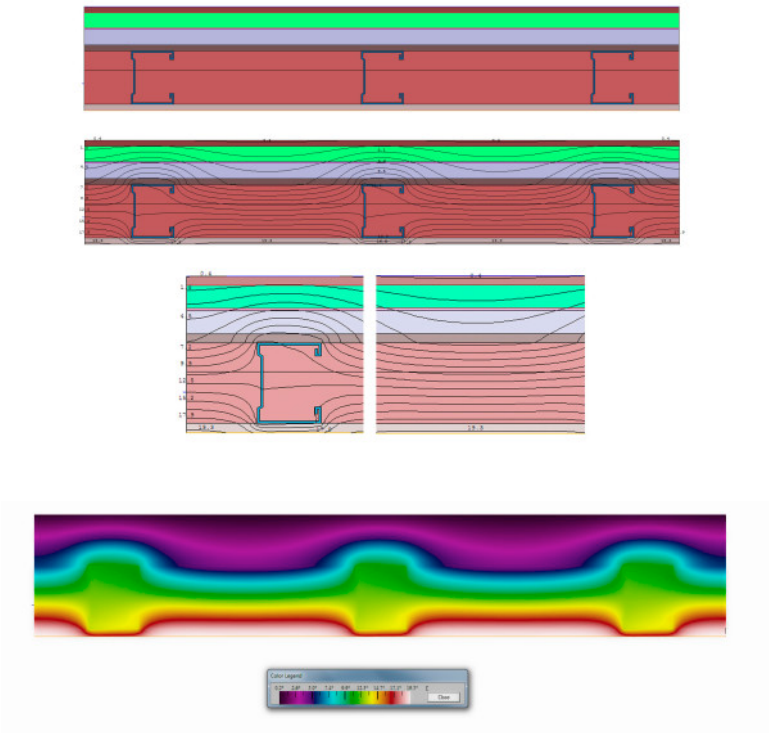


Figura 3.7 Balance de temperatura (infrarrojos). Temperatura máxima y mínima. Realizado con el programa Therm.

En la tabla 3.5 se muestran las isotermas con leyenda en color de la sección completa, para destacar la diferencia entre una sección homogénea y un puente térmico.

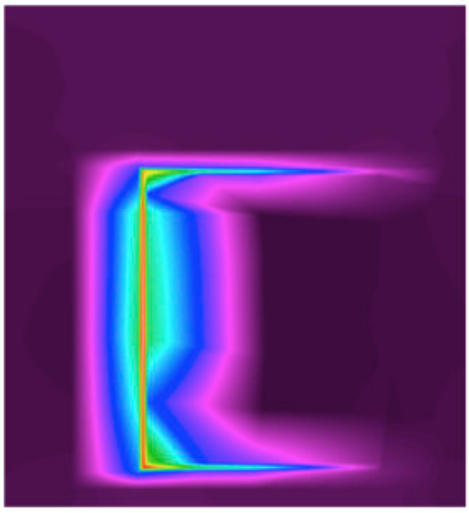
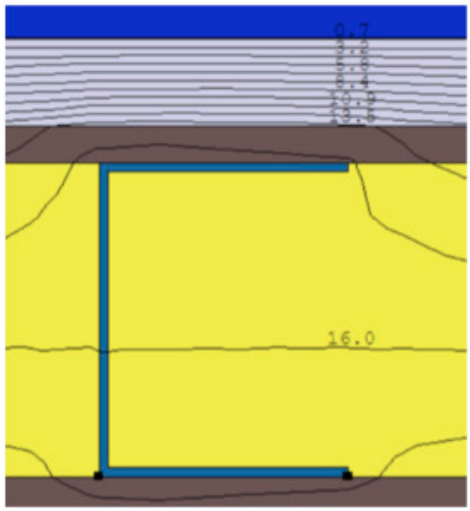
El efecto del puente térmico (pérdida extra de calor) puede visualizarse por la concentración de líneas de flujo de calor,

tal como se muestra en la primera columna de los dibujos.

Entre flujo y flujo pasa la misma cantidad de calor. Los flujos son perpendiculares a las isotermas (o lugares geométricos que unen puntos a la misma temperatura) que definen el campo de temperaturas, también lineal (segunda columna).

En la figura se observa como la concentración de líneas de flujo de calor es claramente visible debido al efecto del puente térmico en la zona del perfil de acero galvanizado, pero no se observa en el resto de la sección.

Tabla 3.4 Puente térmico. Imagen obtenida a través del programa Therm LBNL 6.3

Flujos de calor	Isotermas
	

El cálculo de los puentes térmicos en la opción simplificada es muy sencillo. Se debe calcular como un cerramiento normal pero con los datos del puente térmico en cuestión: los espesores y las conductividades de las capas del puente.

El cálculo de los puentes térmicos mediante los programas informáticos (Lider), con el fin de verificar el cumplimiento de la HE-1, se reduce al cálculo de:

- La conductancia térmica lineal ψ

- El factor de temperatura superficial f

La conductancia térmica lineal se define como el flujo de calor en régimen estacionario dividido por la temperatura ambiente de ambos lados del puente térmico. Sin embargo, el cálculo de ψ es bastante complejo, por lo que se recomienda utilizar algún programa específico. Pero para el cálculo de puentes térmicos más corrientes, el programa informático Lider incluye una base de datos de detalles constructivos con los valores de ψ y f ya calculados, en función de las distintas zonas climáticas, de modo que se recomienda su uso para simplificar.

Condensaciones

La segunda exigencia es la limitación de condensaciones. El origen de las condensaciones procede de la existencia, en el aire ambiente, de agua en fase de vapor, en mayor o menor cantidad.

A modo de ejemplo, la señal más visible que pueden producir las condensaciones es el moho en las superficies interiores de los edificios. La formación de moho es posible cuando se presentan las siguientes condiciones:

- Un ambiente interior con suficiente oxígeno y temperaturas entre 0ºC y 60º. Cada especie suele presentar una temperatura óptima para su desarrollo y crecimiento y un intervalo fuera del cual la vida sería teóricamente imposible. La banda ideal para la mayoría se sitúa entre 25º y 40 ºC. En general, se adaptan bien a los ciclos ligados a cambios higrotérmicos;
- Un sustrato apropiado (por ejemplo, pegamento de celulosa en paredes empapeladas, superficies pintadas,

siliconas, madera, yesos, alfombras…).

- Suficiente humedad en el ambiente o en los materiales de construcción.

La última condición mencionada (suficiente humedad) es muy importante porque el agua es un requisito esencial para la formación de moho. El nivel de humedad de los componentes internos del edificio por un efecto higroscópico (absorción de la humedad del ambiente) en las capas de acabado aumenta considerablemente y, en consecuencia también el riesgo de formación de moho.

El moho a menudo comienza en las esquinas, ya que en general son lugares en los que la condensación absorbida no puede secarse fácilmente debido a la escasa circulación de aire.

Los problemas de moho surgen inicialmente en las habitaciones donde se produce un alto nivel de humedad, por ejemplo, en baños y cocinas. Sin embargo, a veces se observan importantes problemas en los dormitorios, debidos normalmente a la escasa ventilación.

Las condensaciones en los cerramientos son de dos tipos:

- Condensaciones superficiales
- Condensaciones intersticiales

El CTE señala que:

> Las condensaciones superficiales en los cerramientos y particiones interiores que componen la envolvente térmica del edificio, se limitarán de forma que se evite la formación de mohos en su superficie interior.
>
> Para ello, en aquellas superficies interiores de los cerramientos que puedan absorber agua, o susceptibles

de degradarse y especialmente en los puentes térmicos de los mismos, la humedad relativa media mensual en dicha superficie será inferior al 80%.

Las humedades de condensación se originan por el cambio de estado del vapor de agua presente en el aire, en fase líquida, que se produce siempre por enfriamiento, es decir, por disminución de la temperatura.

Un segundo fenómeno combinado con el anterior es el que provoca la aparición de las condensaciones. El aire atmosférico es capaz de contener una cantidad limitada de vapor de agua, a partir de la cual se entra en estado de saturación. En ese momento el exceso de vapor se convierte en agua en fase líquida, produciéndose la condensación. La cantidad de vapor de agua que existe, en relación con el máximo posible, es lo que se llama humedad relativa HR, en tanto por ciento; la saturación se produce al llegar al 100% de HR y se cuantifica a efectos de cálculo de las condensaciones por la presión que ejerce y que llamaremos presión de vapor.

En un ambiente se pueden producir condensaciones por dos motivos: uno es el aumento de la humedad, lo que suele ocurrir en los cuartos de baño; y el otro cuando la humedad relativa de un local entra en contacto con un cuerpo frío, como puede ser la superficie o las capas interiores de un cerramiento. Si mediante ese enfriamiento, se supera el límite máximo, habrá condensaciones. Si las condensaciones se producen en la cara superficial del cerramiento, se denominan condensaciones superficiales, y si se forman en el interior del mismo, se llaman condensaciones intersticiales.

Pasemos a estudiar cada una de ellas.

Condensaciones superficiales

Las condensaciones superficiales se forman en las caras internas de los paramentos cuando la temperatura superficial es inferior a la temperatura del rocío, produciéndose el efecto de pared húmeda o mojada.

Por tanto, el problema depende de la temperatura superficial del cerramiento, así como de la temperatura del rocío del ambiente, y para su evaluación se deben calcular ambos valores:

Temperatura superficial interior y temperatura del rocío.

Las condensaciones superficiales se producen por efecto conjunto de dichos parámetros y para evitarlas debemos actuar al menos en una de ellas. Si queremos actuar sobre la temperatura superficial, como el objetivo es incrementarla, es preciso reducir el coeficiente de transmisión de calor incorporando nuevos materiales resistentes o aumentando el espesor. Si queremos actuar sobre el valor de la temperatura del rocío, como el objetivo es reducirla, se debe reducir la humedad específica del ambiente eliminando vapor, esto se consigue aumentando la ventilación.

Habitualmente, un cerramiento tradicional que esté aislado y en un local que se ventile con cierta regularidad no suele sufrir condensaciones superficiales. El problema se encuentra en los puentes térmicos, en los que el U es más alto y, por lo tanto, la temperatura superficial es más baja; generalmente las condensaciones se concentran en estos lugares.

La comprobación del límite de condensaciones superficiales a efectos del CTE 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 y especificadas en el apartado G.1 de la HE-1.

Para la comprobación del límite de condensaciones superficiales en los cerramientos y puentes térmicos se debe comprobar que el factor de temperatura de la superficie interior sea superior al factor de temperatura de la superficie interior mínimo. Este factor se podrá obtener a partir de la tabla 1 del DA DB HE-2 – Condensaciones (2013), en función del tipo de espacio y de la zona climática (tabla 3.8).

Tabla 3.5 Factor de temperatura de la superficie interior mínimo $f_{Rsi,min}$

Categoría del espacio	Zona climática de inverno					
	Zonas α	Zonas A	Zonas B	Zonas C	Zonas D	Zonas 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

Espacios de clase de higrometría 5: espacios en los que se prevea una gran producción de humedad, tales como lavanderías y piscinas.

Espacios de clase de higrometría 4: espacios en los que se prevea una alta producción de humedad, tales como cocinas industriales, restaurantes, pabellones deportivos, duchas colectivas u otros de uso similar.

Espacios de clase de higrometría 3 o inferior: espacios en los que no se prevea una alta producción de humedad. Se incluyen en esta categoría todos los espacios de edificios residenciales y el resto de los espacios no indicados anteriormente.

El cálculo del factor de temperatura superficial correspondiente a cada cerramiento se realizará según la metodología explicada en el CTE-HE-1, apéndice G:

Condensaciones.

Este cálculo lo realizan los programas de cálculo que actualmente se utilizan y que garantizan el cumplimento de la HE-1, por lo que en este caso no entraremos a definir todo el procedimiento de fórmulas.

Condensaciones intersticiales

Las condensaciones intersticiales se producen en el interior de los cerramientos, particularmente en el aislante, a consecuencia de la disminución de temperatura en cada capa que puede llegar a ocasionar que la presión del vapor supere a la de saturación y dando lugar a la aparición de agua en fase líquida.

Hasta ahora ha sido fácil comprender cómo se producen las condensaciones superficiales, pero tal vez no es tan sencillo comprender las intersticiales. Habría que añadir un nuevo fenómeno a los ya comentados: el de la difusión de vapor de agua.

La causa de la formación de condensaciones intersticiales se debe la acción de varias condiciones ambientales, interiores y exteriores, siendo una de ellas la cuantía de vapor de agua en un ambiente determinado. El vapor de agua tiende a ir de un punto a otro de un cerramiento gracias a las diferencias de la presión de vapor, de los puntos de mayor presión a los de menor, hasta igualar contenidos y presiones. La mayor o menor facilidad para permitir esta difusión se denomina permeabilidad o difusividad al vapor de agua.

En un ambiente interior, la temperatura es mayor que en el exterior y, por tanto, su capacidad para contener vapor es superior a la del exterior, y aunque las humedades relativas

sean distintas, la cantidad de vapor es superior a la del exterior, lo que crea un desequilibrio de presiones de vapor entre los dos ambientes, siendo mayor la presión del interior. Esta desigualdad provoca un proceso de difusión del vapor del interior hacia el exterior. En este proceso, si el vapor se encuentra con una capa fría en su recorrido, se produce una condensación en una capa intermedia, es decir, una condensación intersticial.

La HE-1 adopta para la comprobación de las condensaciones en la opción simplificada el método Glaser, el de mayor tradición y prestigio entre los que realizan comprobaciones estáticas, no dinámicas como las de los programas informáticos.

El procedimiento para la comprobación de la formación de condensaciones intersticiales se basa en la comparación entre la presión de vapor y la presión de vapor de saturación que existe en cada punto intermedio de un cerramiento formado por diferentes capas, para las condiciones interiores y exteriores correspondientes al mes de enero, observando si se producen o no.

Para que no se produzcan condensaciones intersticiales se debe comprobar que la presión de vapor en la superficie de cada capa es inferior a la presión de vapor de saturación.

En el caso de condensación intersticial, la única solución es situar una barrera de vapor o utilizar un aislante de celda cerrada.

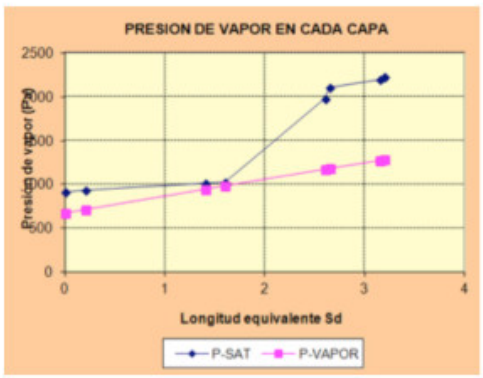
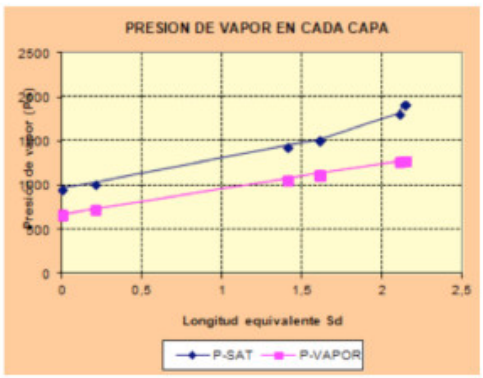
Las expresiones necesarias para realizar la comprobación de la formación de condensaciones intersticiales se recogen en el anexo G de la sección HE-1. Aunque esta formulación resulte complicada, el cálculo de las condensaciones para el cumplimiento de la HE-1, ya sea mediante la opción

simplificada o la general, lo hacen automáticamente los programas y las hojas excel diseñados para dicho cálculo.

La distribución de presiones de vapor a través del cerramiento se puede representar gráficamente indicando la distribución de las presiones de vapor de saturación en un elemento multicapa de un edificio.

En la siguiente tabla se muestran dos diagramas de dos cerramientos de fachada verticales. El primero no cumple, ya que se observa la existencia de un punto en el cerramiento donde la presión de vapor es mayor o igual que la presión de saturación. En el segundo se observa como la presión de saturación es mayor en todo momento.

Tabla 3.6 Diagrama de condensación intersticial. Hoja de cálculo cumplimiento HE-1, opción simplificada. COAM, V.08

Condensaciones intersticiales. No cumple	Condensaciones intersticiales. Cumple
	

Permeabilidad al aire

Las carpinterías de los huecos (ventanas y puertas) y lucernarios de los cerramientos se caracterizan por su permeabilidad al aire.

La permeabilidad de las carpinterías de los huecos y lucernarios de los cerramientos que limitan los espacios

habitables con el ambiente exterior se limita en función del clima de la localidad en la que se ubican, según la zonificación climática establecida.

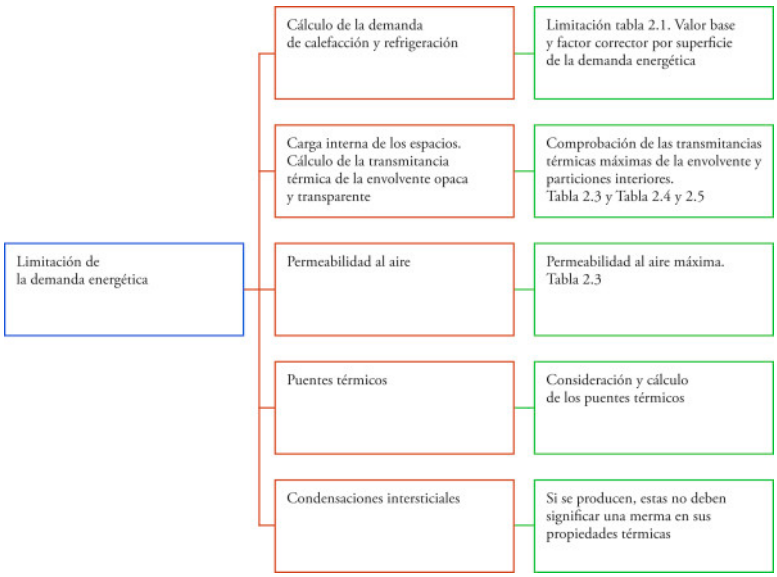
La permeabilidad al aire de las carpinterías, medida con una sobrepresión de 100 Pa, tendrá unos valores inferiores a los siguientes:

a) Para las zonas climáticas α, A y B< 50 m^3/hm^2

b) Para las zonas climáticas C, D y E< 27 m^3/hm^2
(Valores procedentes de la tabla 2.3, CTE HE-1)

Limitación de la demanda energética

En resumen, la demanda energética de los edificios se limita dependiendo de la zona climática de la localidad en que se ubican y del uso previsto.
El siguiente esquema 3.8 expresa las distintas limitaciones para cada punto.



Por un lado, habrá que calcular la demanda energética de calefacción y refrigeración, bien por medios manuales o bien informáticos. Por otro lado, el cálculo de la demanda energética, tanto de calefacción como de climatización, se va

a ver limitado por la:

Demanda energética de calefacción

$$D_{cal,lim} = D_{cal,base} + F_{cal,sup} / S$$

Donde:

- $D_{cal,lim}$ es el valor límite de la demanda energética de calefacción, expresada en kW·h/m^2·año, considerada la superficie útil de los espacios habitables;
- $D_{cal,base}$ es el valor base de la demanda energética de calefacción, para cada zona climática de invierno correspondiente al edificio, que toma los valores de la tabla 3.1;
- $F_{cal,sup}$ es el factor corrector por superficie de la demanda energética de calefacción, que toma los valores de la tabla 3.1;
- S es la superficie útil de los espacios habitables del edificio, en m^2.

Tabla 3.7 Valor base y factor corrector por superficie de la demanda energética de calefacción. (Tabla 2.1. CTE-HE1, 2013)

	Zona climática de inverno					
	α	A	B	C	D	E
$D_{cal,base}$ [kWh/m² año	15	15	15	20	27	40
$F_{cal,sup}$	0	0	0	1.000	2.000	3.000

La tabla va en función de las distintas zonas climáticas, siendo α la nueva zona que aparece para las islas canarias.

La demanda energética de refrigeración del edificio no debe superar el valor límite Dref, lim = 15 kW·h/m^2·año para las zonas climáticas de verano 1, 2 y 3, o el valor 20 kW·h/m^2·año para la *zona climática* de verano 4.

En el cálculo de la demanda energética de los edificios también influye la carga interna en sus espacios, que se verá también limitada.

Comprobación de las transmitancias

Además, el capítulo 2 del HE-1 establece como condición necesaria que la *transmitancia térmica* y la *permeabilidad al aire* de los *huecos* y la *transmitancia térmica de las zonas opacas de muros, cubiertas y suelos*, que formen parte de la *envolvente térmica* de edificios residenciales privados, no debe superar los valores fijados en las tablas 2.3, 2.4 y 2.5 del CTE, excluyendo los puentes térmicos. (Véase la tabla 3.4). Estos valores son bastante más restrictivos que el anterior CTE-HE1 (2009).

Tabla 3.8 Valores límite de los parámetros característicos medios. Procedentes de las tablas 2.3 y 2.4 y 2.5. Capítulo 2. HE-1

Transmitancia térmica (W/m²K)	Zona climática de inverno					
	Zona α	Zonas A	Zonas B	Zonas C	Zonas D	Zonas E
Muros y elementos en contacto con el terreno	1,35	1,25	1,00	0,75	0,60	0,55
Suelos y cubierta en contacto con el aire	1,20	0,80	0,65	0,50	0,40	0,62
Huecos	5,70	5,70	4,20	3,10	2,70	2,50
Particiones horizontales y verticales de distinto uso	1,35	1,25	1,10	0,95	0,85	0,70
Particiones horizontales que delimitan un mismo uso	1,90	1,80	1,55	1,35	1,20	1
Particiones verticales que delimitan un mismo uso	1,40	1,40	1,20	1,20	1,20	1,00

Justificación de la HE-1

El capítulo 3 de la HE-1 explica el método para la correcta justificación y verificación de la limitación de la demanda energética, estableciendo para ello una única opción: la opción general.

Anteriormente a esta actualización de 2013, existía la posibilidad de una opción simplificada a la que podían acogerse los edificios que cumplían los siguientes requisitos:

a) que la superficie de huecos en cada fachada sea inferior al 60% de su superficie;

b) que la superficie de lucernarios sea inferior al 5% de la superficie total de la cubierta;

Era bastante fácil de realizar con la ayuda de Excel, puesto que se trataba de rellenar una ficha justificativa.

Actualmente el CTE no pone de manifiesto ningún método de cálculo, pudiendo ser a mano o mediante ordenador; en cambio, sí que comenta los documentos que deben adjuntarse a la memoria para su justificación:

a) Definición de la zona climática de la localidad en la que se ubica el edificio.

b) Descripción geométrica, constructiva y de usos del edificio: orientación, definición de la envolvente térmica, otros elementos afectados por la comprobación de la limitación de descompensaciones en edificios de uso residencial privado, distribución y usos de los espacios, incluidas las propiedades higrotérmicas de los elementos.

c) Perfil de uso y, en su caso, nivel de acondicionamiento de los espacios habitables.

d) Procedimiento de cálculo de la demanda energética

empleado para la verificación de la exigencia.

e) Valores de la demanda energética y, en su caso, porcentaje de ahorro de la demanda energética respecto al edificio de referencia, necesario para la verificación de la exigencia.

f) Características técnicas mínimas que deben reunir los productos que se incorporen a las obras y sean relevantes para el comportamiento energético del edificio.

g) Justificación y verificación de las condensaciones.

En resumen, la justificación queda expresada en el siguiente cuadro:

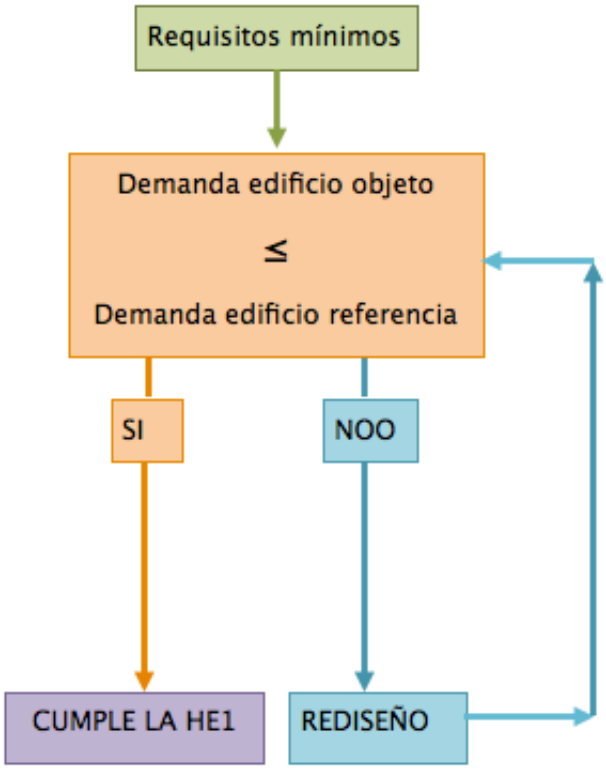


Figura 3.9 Esquema-resumen de los requisitos mínimos HE-1

Por lo expresado hasta el momento, parece que está claro que la única opción para el cumplimiento de la HE-1, era la anteriormente denominada opción general. Dicha opción

está basada en la evaluación de la demanda energética de los edificios mediante la comparación de esta demanda con la correspondiente a un edificio de referencia que define la propia opción.

El edificio de referencia es un edificio que se obtiene a partir del edificio objeto (el nuestro de partida), con su misma forma, tamaño, orientación, zonificación interior, uso de cada espacio e iguales obstáculos remotos, y unas soluciones constructivas tipificadas, cuyos parámetros característicos quedan limitados en el apéndice D2 del CTE-HE-1 (2013), estableciendo el U límite de muros de fachada y cerramiento en contacto con el terreno, suelos, cubiertas, y factor solar modificado de lucernarios, según las distintas zonas climáticas.

Si se va a optar por la opción mediante ordenador, el único programa de cumplimiento de la opción general que aparece como Documento Reconocido es el programa LIDER (Limitación de la Demanda Energética), que se puede descargar gratuitamente de la siguiente página web del Código Técnico: www.codigotecnico.org.

El programa está compuesto por una interfaz gráfica unida a un motor de cálculo, que es capaz de calcular el comportamiento térmico del edificio en régimen transitorio hora a hora, teniendo en cuenta al mismo tiempo las solicitaciones tanto externas como internas, y considerando los efectos de la masa térmica de los cerramientos.

Es un programa relativamente sencillo y de fácil manejo. La creación de materiales es bastante intuitiva y dispone de una base de datos amplia. Lo único que puede dar lugar a equivocaciones es el dibujo del edificio, puesto que el diseño se hace a través de coordenadas, tanto absolutas como relativas.

3.3. Análisis de la HE-0: Limitación del consumo energético

Esta nueva sección que aparece en la actualización del CTE, pretende limitar el consumo de energía primaria de los edificios, distinguiendo entre edificios nuevos o ampliaciones de uso residencial privado y otros usos, limitando el valor en los edificios privados a una eficiencia en la escala de la calificación energética igual o superior a B.

Centrémonos en los edificios residenciales.

Justificación del cumplimiento de la exigencia

Para justificar que un edificio cumple la exigencia básica de limitación del consumo energético que se establece en esta sección del DB HE, los documentos de proyecto han de incluir la siguiente información:

a) Definición de la zona climática de la localidad en la que se ubica el edificio, de acuerdo con la zonificación establecida en la sección HE-1 de este DB, según la tabla que se muestra en el apéndice B de dicha sección.

b) Procedimiento empleado para el cálculo de la demanda energética y el consumo energético cuando se trata de un edificio de viviendas.

Demanda energética (Sección HE-1)

$$D_{cal,lim} = D_{cal,base} + F_{cal,sup} / S$$

Donde,

- Dcal,lim es el valor límite de la demanda energética de calefacción, expresada en kW·h/m^2 año, considerada la superficie útil de los espacios habitables;

- Dcal,base es el valor base de la demanda energética de calefacción, para cada zona climática de invierno correspondiente al edificio, que toma los valores de la tabla 2.1;
- Fcal,sup es el factor corrector por superficie de la demanda energética de calefacción, que toma los valores de la tabla 2.1;
- S es la superficie útil de los espacios habitables del edificio, en m^2.

Tabla 3.9 Valor base y factor corrector por superficie de demanda energética de calefacción. (Tabla 2.1. HE-1)

	Zona climática de inverno					
	α	A	B	C	D	E
$D_{cal,base}$ [kWh/m² año	15	15	15	20	27	40
$F_{cal,sup}$	0	0	0	1.000	2.000	3.000

La *demanda energética* de refrigeración del edificio o la parte ampliada, en su caso, no debe superar el valor límite Dref, lim = 15 kW·h/m^2·año para las zonas climáticas de verano 1, 2 y 3, o el valor límite Dref, lim = 20 kW·h/m^2·año para la *zona climática* de verano 4.

Consumo energético (Sección HE-0)

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

Donde:

- $C_{ep,lim}$ es el valor límite del consumo energético de energía primaria no renovable para los servicios de calefacción, refrigeración y ACS, expresada en kW·h/m^2-año, considerada la superficie útil de los

espacios habitables;

- $C_{ep,base}$ es el valor base del consumo energético de energía primaria no renovable, dependiente de la zona climática de invierno correspondiente a la ubicación del edificio, que toma los valores de la tabla 2.1.
- $F_{ep,sup}$ es el factor corrector por superficie del consumo energético de energía primaria no renovable, que toma los valores de la tabla 2.1.
- S es la superficie útil de los *espacios habitables* del edificio.

Tabla 3.10 Valor base y factor corrector por superficie de demanda energética de calefacción. (Tabla 2.1. HE-0)

	Zona climática de inverno					
	α	A	B	C	D	E
$D_{cal,base}$ [kWh/m² año	40	40	42	50	60	70
$F_{cal,sup}$	1.000	1.000	1.000	1.500	3.000	4.000

Los valores de $C_{ep,base}$ para las zonas A, B y C de Canarias, Baleares, Ceuta y Melilla se obtendrán multiplicando los valores de $C_{ep,base}$ por 1.2.

c) Demanda energética de los distintos servicios técnicos del edificio:
   - *Calefacción.* (Justificación HE-1)
   - *Refrigeración.* (Justificación HE-1)
   - *ACS.* (Justificación HE-4)
   - *Iluminación*. (Justificación HE-3)

   Se puede realizar, bien de modo manual, o bien utilizando un programa informático. El único reconocido hasta el momento por el CTE es el

programa Lider.

d) Descripción y disposición de los sistemas empleados para satisfacer las necesidades de los distintos servicios técnicos del edificio.

e) Rendimientos considerados para los distintos equipos de los servicios técnicos del edificio.

f) Factores de conversión de energía final a energía primaria empleados. (4.2 HE-0).

g) Para uso residencial privado, consumo de energía procedente de fuentes de energía no renovables.

h) En el caso de edificios de uso distinto del residencial privado, calificación energética para el indicador de energía primaria. Lo más sencillo es obtenerlo mediante un programa informático. Actualmente, el único reconocido es el Calener, previa utilización de Lider.

En resumen, y como hemos demostrado, la HE-0 es un compendio de las demás secciones ya que reúne la justificación del resto de las secciones.

Recientemente se acaba de lanzar una guía gratuita para el predimensionado energético de edificios, aplicable a los edificios de viviendas situados en todas las zonas climáticas de la geografía nacional, con el fin de ayudarnos al cumplimiento de la nueva HE-0 Y HE-1, consistente en una serie de tablas, no un programa informático. Dicha guía se llama PREDIMENER y ha sido creada y subvencionada por la Asociación Nacional de Fabricantes y Materiales aislantes ANDIMAT.

Ya se puede descargar en el siguiente enlace:

http://www.andimat.es/wp-content/uploads/guia-predimener-140520.pdf

Como indica en el propio documento: «Esta guía pretende servir de ayuda a los técnicos en el proyecto de edificios de viviendas de manera que puedan garantizar desde las primeras fases de diseño las exigencias normativas de consumo en energía primaria (Documento básico HE0) y de demanda de calefacción y refrigeración (Documento básico HE1). Esta verificación se realiza a partir del cumplimiento de unas prescripciones relativas tanto al diseño de la envolvente del edificio como a los sistemas térmicos de calefacción, refrigeración y agua caliente sanitaria.»

El seguimiento de las recomendaciones que se proponen no exime por tanto de la utilización de los procedimientos oficiales de cálculo propuestos por el Código Técnico, ya que se trata de orientar a los técnicos sobre las distintas posibilidades de cumplir las exigencias reglamentarias HE-0 Y HE-1.

La metodología propuesta por la guía es la siguiente:

- Cumplimiento de la demanda de calefacción (HE-1):
    - Cumplimiento de las prescripciones relativas al diseño (compacidad y acceso solar) y a la calidad constructiva de los elementos de la envolvente (transmitancia de muros de fachada, cubiertas, suelos y puentes térmicos).
    - Cumplimiento de la calidad de los huecos y sus elementos de control solar.
    - Ofrece la posibilidad de evaluar la mejora de la

ventilación y la infiltración en relación con la calidad del aire.

- Cumplimiento de la demanda de refrigeración (HE-1):
    - Cumplimiento del control solar (obstáculos remotos, protecciones fijas y elementos de sombras).
    - Transmitancia y color de las cubiertas.
    - Influencia de la ventilación nocturna para el régimen de refrigeración.
- Cumplimiento del consumo de energía primaria (HE-0):
    - Cumplimiento de la demanda de calefacción, refrigeración y agua caliente sanitaria.
    - Rendimiento de equipos incluidos en el documento de prestaciones medias estacionales para edificios de viviendas.
- Complementariamente, la guía informa sobre la clase de eficiencia que presumiblemente alcanzaría el edificio si se sometiese a un proceso de certificación.

En resumen, dicha guía pretende ayudarnos a cumplir estrictamente las exigencias del HE.: la demanda de calefacción y refrigeración, permite cumplir con facilidad la exigencia del HE-0, con la gama de equipos generadores normalmente utilizados en el sector, mediante el uso de unas tablas que guardan una total analogía con las tablas prescriptivas del CTE-HE1 (2006).

Permite demostrar que se pueden cumplir las exigencias sin

llegar a alcanzar unos niveles antieconómicos de espesor de aislamiento en la envolvente que es en lo que primero que pensaríamos al enfrentarnos a los nuevos valores de transmitancia propuestos por la HE, si tratamos adecuadamente los puentes térmicos y el análisis del acceso solar de los huecos.

4. Eficiencia energética de los cerramientos opacos

4.1. La envolvente opaca. Descripción

El cerramiento exterior resulta vital porque es la imagen que el edificio ofrece a la ciudad y esto implica intereses relacionados con la composición, la coherencia urbana o el prestigio. Pero sobre todo es un límite protector de diseño cada vez más sofisticado. Hasta hace pocos años todo se resolvía con el espesor: más frío exterior, más grosor del cerramiento; más carga, más grosor; más lluvia, más grosor… Hoy se superponen delicados e inteligentes materiales para resolver una envolvente cien veces más eficaz con un espesor escaso.

La envolvente de las edificaciones es una sofisticada membrana que tiene que diseñarse como tal. Una membrana a la que se le encomienda el control de los más diversos aspectos: control del flujo térmico, control del flujo de aire, control del flujo de vapor de agua, control del movimiento del agua, durabilidad de los materiales, comportamiento frente al fuego, resistencia y rigidez.

Los cerramientos tradicionales están compuestos por diversos materiales y formados por una multiplicidad de capas

especializadas, separadas o no por una cámara de aire que, en algunos casos, puede estar trasdosada por un muro construido con un material más pesado.

La elección y configuración formal de los componentes que conforman la envolvente exterior del edificio determinan su capacidad térmica; su respuesta frente a las variaciones térmicas exteriores susceptible de generar ganancias y pérdidas de calor en el edificio, y las posibles estrategias pasivas de ahorro energético a lo largo del ciclo térmico anual.

Un cerramiento tradicional se compone de tres hojas o partes principales, las cuales son:

Hoja exterior

La hoja exterior tiene dos funciones principales: dibujar la imagen exterior del edificio y cerrar la cámara ventilada formando una primera barrera de protección. Suele estar formada por piezas de tamaño discreto y materiales diversos. El proyectista dispone de un amplísimo abanico de posibilidades para vestir el edificio.

En este juego formal hay sitio para todos los materiales imaginables. Las características de cada uno de ellos establecen sus posibilidades de integración en la fachada. A la hora de pensar en los materiales de la hoja exterior, se debe conciliar la ligereza con la resistencia a los esfuerzos de empuje y succión del viento, lo que en algunos casos lleva a la elección de productos compuestos.

La lista de materiales de aplicación en fachada es hoy en día ilimitada. Dentro de los materiales que se pueden emplear como acabado exterior se encuentran la piedra, maderas, cerámicas, chapas metálicas, mallas metálicas, textiles de PVC

y similares, mantos vegetales…

Esta hoja exterior, que puede ser de materiales tan diversos, supone una primera barrera entre las condiciones del exterior y las del interior del edificio. No garantiza la estanquidad pero, evidentemente, supone un primer obstáculo para la gota de agua, que puede penetrar la junta como gota directa o como gota empujada por las diferencias de presión.

La cámara/el aislamiento

Entre medias de las dos hojas se halla la cámara. La cámara está compuesta de aire, que es el material más eficaz en la satisfacción de nuestro objetivo prioritario: la estanquidad. Con ella cumple perfectamente con la función para la que ha sido creada: la de aislamiento, tanto acústico como térmico. Por ello, de la sucesión de hojas de materiales diversos con un alto grado de especialización que conforman las fachadas hoy en día, la hoja más importante no es de ningún material constructivo.

Estas cámaras, en ciertos casos, pueden estar rellenas total o parcialmente con aislamiento. El aislamiento que más se usa actualmente en la construcción son los poliestirenos expandidos, las espumas de poliuretano (para proyectar) y las lanas de vidrio (fibra de vidrio). Su colocación más habitual es en el lugar donde tradicionalmente se dispone la cámara de aire. Como regla general, no parece interesante la adición de una cámara de aire en contacto con el aislante, salvo por problemas de humedades, ya que requiere una buena ejecución, dado que si se coloca mal y falta anclaje en el aislamiento, podría derivar en la caída de los paneles a la cámara, dejando parte del cerramiento sin aislante, lo que determinaría la aparición de puentes térmicos.

Hoja interior

Hay que tener en cuenta que la hoja interior debe soportar las acciones transmitidas por la hoja exterior, el peso propio y el viento. A continuación se indican las funciones que tendrá que asumir el nuevo material ligero:

La estanquidad del aire. Hay que recordar que la cámara de aire está sometida a cambios de presión provocados por el viento, con lo que cualquier perforación del tabique interior puede producir intercambios de aire con el espacio habitable.

La estabilidad frente a las acciones del viento. En las fachadas ligeras esta función pasa a ser responsabilidad de algún otro elemento con capacidad estructural, como pueden ser los montantes metálicos o láminas con cierta capacidad mecánica.

- La planicidad de la hoja exterior.
- Soportar el aislamiento térmico.
- Aportar inercia térmica.
- Mejorar el aislamiento acústico.
- Facilitar el paso de las instalaciones.
- Proteger del fuego.
- Mejorar la seguridad frente a la intrusión.
- Contribuir con una tercera barrera al paso del agua para prevenir el fallo ocasional de las anteriores.

En el desarrollo de este capítulo definiremos diversos cerramientos y se calculará su transmitancia térmica, a fin de que aprendamos a calcularlos. Para comenzar veremos un caso sencillo de una fachada tradicional compuesta de tres hojas y cámara de aire.

4.2. Resolución del cálculo de la transmitancia térmica

según la HE-1

Tabla 4.1 EJEMPLO 1. Composición del cerramiento, ejemplo 1

Descripción	Espesor [m]	Conductividad térmica λ [W/m K]	Descripción gráfica
½ pie de LP métrico o catalán 40mm<G<60mm	0,120	0,667	
Cámara de aire no ventilada vertical 2 cm	0,02		
Tabique LH sencillo 40<espesor<60 mm	0,05	0,445	
Enlucido de yeso 1.000<d<1.300	0,02	0,570	

Para obtener la conductividad térmica de los distintos materiales que componen el cerramiento, nos remitiremos a los valores declarados por los fabricantes (según la norma UNE-EN ISO 10 456:2001) o a los datos contenidos en los Documentos Reconocidos (DR) como el Catálogo de Elementos Constructivos.

Realicemos el cálculo según lo expresado anteriormente por la HE-1.

$$R_T = R_{se} + R_1 + R_2 \ldots R_n + R_{si}$$

Siendo $R = e/\lambda$

R_{si} y R_{se} vienen expresados en la tabla 4.2 (E1-Apéndice E, HE-1), Resistencias térmicas superficiales de cerramientos en contacto con el aire exterior en m^2K/W.

Tabla 4.2 Resistencias térmicas superficiales de cerramientos en contacto con el aire exterior en m^2K/W. Procedente de la tabla 1. DA DB HE -1.

Posición del cerramiento y sentido del flujo de calor		R_{SE} (m^2K/W)	R_{SI} (m^2K/W)
Cerramiento vertical y flujo horizontal	→	0.04	0.13
Cerramiento horizontal y flujo ascendente	↑	0.04	0.10
Cerramiento horizontal y flujo descendente	↓	0.04	0.17

$$RT= 0,04+0,120/0,667+ R_2 +0,05/0,445 +0,02/0,570+ 0,13 \ [m^2 K/W]$$

Nos falta el cálculo de R_2 correspondiente a la cámara de aire, que se realiza a partir de la tabla 4.3 (Tabla E2 del CTE).

Tabla 4.3 Resistencias térmicas de cámaras de aire en m^2K/W. Procedente de la tabla E2. DA DB HE-1

Espesor (cm)	Cámara de aire sin ventilar	
	Cámara horizontal	Cámara vertical
1	0,15	0,15
2	0,16	0,17
5	0,16	0,18

$$RT= 0,04+0,18+0,17+0,11+0,035+0.13=0,665 \ m^2 K/W$$

$$U=1/RT; \ \mathbf{U=1,50 \ W/ \ m^2K}$$

A partir de este ejemplo, podemos constatar que:

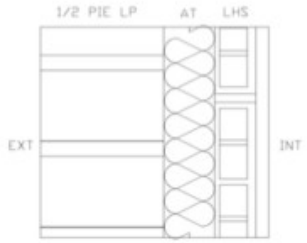
- Cuanto menor sea el valor de U tanto menor será la pérdida de calor a través de la pared.
- El coeficiente de transmisión U global será tanto menor cuanto mayor sea el conjunto de e/λ, lo que únicamente puede conseguirse introduciendo, en el conjunto de la pared compuesta, un elemento simple cuyo valor e/λ sea muy elevado, para lo que deberá elegirse un material con

valores de λ muy pequeños y con un espesor adecuado.

Los materiales que poseen un valor de conductividad térmica bajo se denominan aislantes térmicos.

Para comprobar lo dicho, expongamos un segundo ejemplo, que consiste en analizar el mismo cerramiento anterior pero sustituyendo la cámara de aire por el aislamiento térmico.

Tabla 4.4 EJEMPLO 2. Composición del cerramiento, ejemplo 2.

Descripción	Espesor [m]	Conductividad térmica λ [W/m K]	Descripción gráfica
½ pie de LP métrico o catalán 40mm<G<60mm	0,120	0,667	
EPS poliestireno expandido	0,02	0,029	
Tabique LH sencillo 40<espesor<60 mm	0,05	0,445	
Enlucido de yeso 1.000<d<1.300	0,02	0,570	

Se toman los mismos valores de R_{se} y R_{si} que en el ejemplo anterior.

$$RT= 0,04+0,120/0,667+ 0,02/0,029 +0,05/0,445 +0,02/0,570+ 0,13\ [m^2\ K/W];$$

$$RT=0,04+0,18+0,69+0,11+0,035+0.13=1,185\ m^2\ K/W$$

$$U=1/RT;\ \mathbf{U=0,84W/\ m^2K}$$

Comprobación de las transmitancias de los parámetros característicos medios de ambos cerramientos, calculados suponiendo que se encuentran en Málaga y de acuerdo con la tabla 2.3, capítulo 2, HE-1.

Málaga es zona A3, según la tabla B.1, apéndice B, CTE-HE-1 (2013).

Tabla 4.5 Valores límite de los parámetros característicos medios. Procedentes

de las tablas 2.3 y 2.4 y 2.5. Capítulo 2. HE-1 (2013)

Transmitancia térmica (W/m²K)	Zona climática de inverno					
	Zona α	Zonas A	Zonas B	Zonas C	Zonas D	Zonas E
Muros y elementos en contacto con el terreno	1,35	1,25	1,00	0,75	0,60	0,55
Suelos y cubierta en contacto con el aire	1,20	0,80	0,65	0,50	0,40	0,62
Huecos	5,70	5,70	4,20	3,10	2,70	2,50
Particiones horizontales y verticales de distinto uso	1,35	1,25	1,10	0,95	0,85	0,70
Particiones horizontales que delimitan un mismo uso	1,90	1,80	1,55	1,35	1,20	1
Particiones verticales que delimitan un mismo uso	1,40	1,40	1,20	1,20	1,20	1,00

Cumple la exigencia básica de la HE-1, por ser mayor que el U_{lim} definido en la tabla anterior.

Por último debemos comprobar y precisar los parámetros de transmitancia de todos los elementos de la *envolvente térmica* del edificio de referencia, establecidos en el apartado D.2, apéndice D, CTE-HE-1 (2013), según la zona climática donde esté situado el edificio.

D.2.3 ZONA CLIMÁTICA α3, A3

Transmitancia límite de muros de fachada y cerramientos en contacto con el terreno	U_{Mlim}: 0,94 W/m² K
Transmitancia límite de suelos	U_{Slim}: 0,53 W/m² K
Transmitancia límite de cubiertas	U_{Clim}: 0,50 W/m² K
Factor solar modificado límite de lucernarios	F_{Llim}: 0,29

	Transmitancia límite de huecos U_{Hlim} W/m²K				Factor solar modificado límite de huecos F_{Hlim} Baja carga interna			Alta carga interna		
% de huecos	N/NE/NO	E/O	S	SE/SO	E/O	S	SE/SO	E/O	S	SE/SO
de 0 a 10	5,7	5,7	5,7	5,7	-	-	-	-	-	-
de 11 a 20	4,7	5,7	5,7	5,7	-	-	-	-	-	-
de 21 a 30	4,1	5,5	5,7	5,7	-	-	-	0,60	-	-
de 31 a 40	3,8	5,2	5,7	5,7	-	-	-	0,48	-	0,51
de 41 a 50	3,5	5,0	5,7	5,7	0,57	-	0,60	0,41	0,57	0,44
de 51 a 60	3,4	4,8	5,7	5,7	0,50	-	0,54	0,36	0,51	0,39

Efecto del aumento del aislamiento

Se ha podido observar en el ejemplo 2 que, al colocar aislamiento, se reduce la transmitancia térmica en casi un 50%, por lo que la influencia del material aislante sobre el coeficiente de transmisión de calor es enorme.

Los ejemplos realizados nos ayudan a constatar que la calidad

de los materiales y el tratamiento térmico que reciban puede hacer variar el resultado de las pérdidas de calor por transmisión.

Puesto que los valores de U influyen muy directamente en la valoración de estas pérdidas, es evidente que una protección térmica aplicada a los materiales que se utilizarán en la construcción de un edificio o local, aun cuando suponga una inversión adicional, es muy rentable económicamente, teniendo en cuenta los ahorros de energía que se producirán. Sin asignar cifras económicas, se puede decir que la inversión en aislamiento térmico se amortiza en un plazo muy breve, en ocasiones incluso una sola temporada de calefacción. Tanto más breve será cuanto más cara sea la energía y más extremas las condiciones climáticas en la localidad.

A partir de aquí podríamos pensar que, al aumentar progresivamente el aislamiento, se reduciría la transmitancia.

Veamos lo que pasa si en el ejemplo anterior aumentamos progresivamente el aislamiento y realizamos una curva (fig. 4.2.)

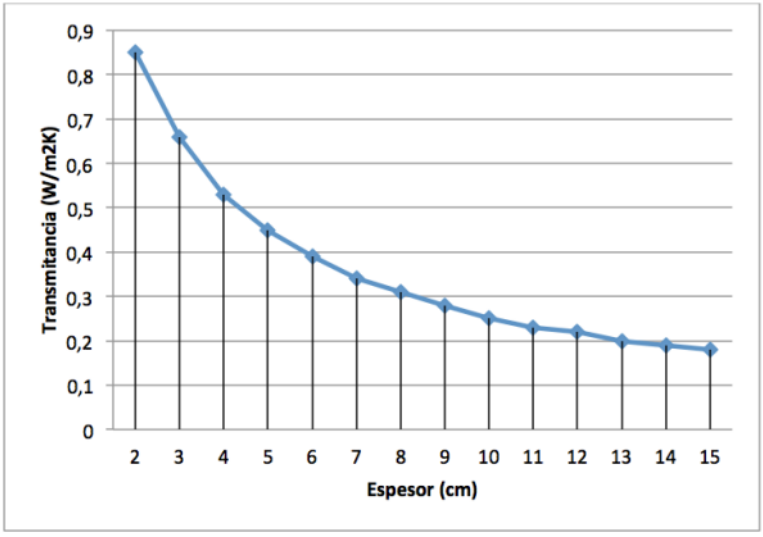


Figura 4.2 Gráfica de la relación entre el espesor de aislamiento y la transmitancia térmica.

Observamos que al aumentar progresivamente el aislamiento y anotar las transmitancias, se produce la curva de la figura, es decir, se aumenta rápidamente el valor al ir aumentando el espesor, hasta que llega un punto en el que el aumento es prácticamente imperceptible, pero el coste económico lo haría inviable. Se considera rentable hasta un espesor de 8-9 cm.

4.3. Fachadas técnicas. Descripción y cálculo

Otro ejemplo de fachadas que aún no hemos comentado son las denominadas fachadas técnicas con el aislamiento proyectado por el exterior.

Estas fachadas están compuestas también por tres hojas, pero la diferencia radica en la cámara. A estas fachadas se las denominan trasventiladas. Las funciones de las hojas que componen la fachada trasventilada son totalmente diferentes de las de una fachada tradicional. Lo que en un principio eran dos caras de un mismo elemento constructivo, ahora pasan a ser dos elementos con funciones totalmente diferentes. La hoja interior formará parte del conjunto interno de la edificación. Este elemento podrá ejercer la función portante recibiendo las diferentes cargas que deriven del edificio o, estrictamente, la función de cerramiento. En ambos casos, esta hoja siempre se encontrará entre los elementos estructurales y enrasados con los forjados y su función principal será la de ayudar a soportar las acciones derivadas de la pared exterior, así como servir de base para la posterior colocación del aislamiento. Podrá ser tanto de fábrica como prefabricada.

La hoja exterior se entiende como un elemento de acabado, un elemento totalmente independiente que ejerce de piel del edificio. Y la hoja principal será la cámara de aire, cuya

función primera es ofrecer y garantizar la estanquidad requerida.

Una fachada trasventilada, por tanto, es un sistema constituido por un elemento de aplacado o revestimiento exterior soportado por elementos portantes interiores, a través de una subestructura, mediante fijaciones y anclajes; entre el aplacado y la zona portante queda un espacio por el que discurre una corriente de aire entre la parte inferior y la superior que mantiene las condiciones de baja humedad en el hueco.

El objetivo primordial de este tipo de cerramiento es crear un efecto chimenea, con lo cual se garantiza una reducción considerable de las transmisiones térmicas desde el exterior de la edificación, tanto en las estaciones cálidas como en las frías, aminorando los consumos energéticos ocasionados por el acondicionamiento de los interiores, contribuyendo así a la viabilidad estética, energética y ecológica de la edificación.

Respecto al control de la transferencia de energía en el cerramiento, la aportación básica es proveer al edificio de un primer «escudo» frente a la inclemencia exterior y de un substrato de aislamiento térmico.

Detrás de esta cámara se suele incorporar aislamiento térmico. Este se coloca sobre la hoja interior para favorecer y evitar condensaciones y puentes térmicos en el interior. La diferencia con el ejemplo anterior radica en que esta cámara está ventilada.

Según el Código Técnico de la Edificación (Apéndice A, DB H51), una cámara ventilada es aquella cuyo espesor esté comprendido entre 3 y 10 cm y disponga de un área efectiva de ventilación mínima de 120 cm^2 (0,012 m^2) por cada 10 m^2 de paño de fachada entre forjados, repartida al 50%

entre la parte superior y la inferior. Por ejemplo, si consideramos una altura entre forjados de 2,5 m, la superficie de aberturas por metro de longitud en la parte superior e inferior del forjado tiene que ser como mínimo de 1.500 mm^2.

Se recomienda sectorizar horizontalmente dentro de un único plano de fachada, además de realizar sectorizaciones verticales entre planos distintos. Estas sectorizaciones tienen un valor añadido que es la función de cortafuegos.

Los elementos que conectan la hoja exterior y la interior no deben ser puentes por los que el agua se mueva hacia el interior. Para ello, las fijaciones deben tener goterón o una pendiente hacia afuera. Es básico que dicho goterón quede en la cámara y no oculto en el grueso del aislamiento térmico, ya que de ser así perdería su función.

Para su cálculo, el CTE considera los sistemas de cerramiento de fachada ventilada como soluciones técnicas alternativas a las estipuladas en los Documentos Básicos del CTE y, por tanto, es necesario un análisis específico para la justificación del cumplimiento de las exigencias básicas del CTE. Lo más sencillo es considerar la cámara como ligeramente ventilada.

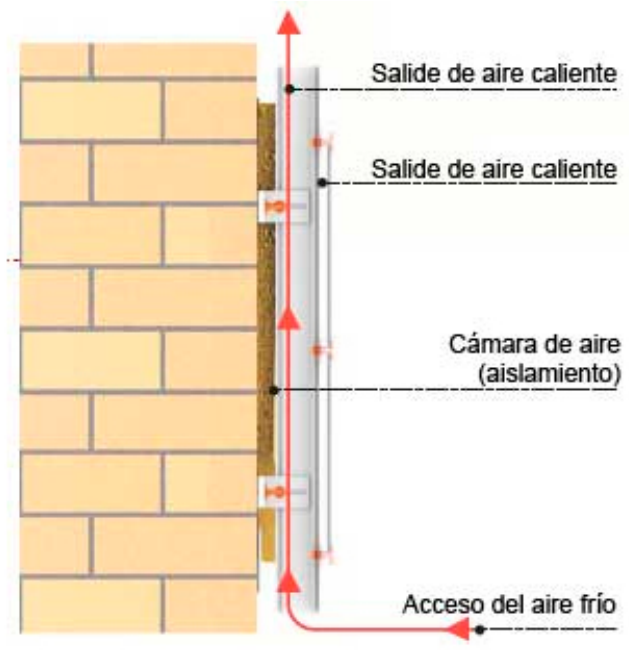
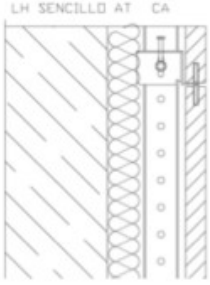


Figura 4.3 Funcionamiento de una cámara de aire de una fachada técnica. Fuente: Petrecal.

Cabe destacar que la diferencia entre ambas cámaras de aire no radica solo en el cálculo de la transmitancia térmica, sino que en la fachada ventilada se producen efectos de circulación de aire y de convección que proporcionan otras ventajas. El estudio de estas fachadas da lugar al nacimiento de las dobles pieles de vidrio, en las que el aire de la doble piel puede ser introducido en el interior del edificio a modo de ventilación.

Vamos a calcular el siguiente ejemplo.

Tabla 4.6 EJEMPLO 3. Cálculo de cerramiento.

Descripción	Espesor [m]	Conductividad térmica λ [W/m K]	Descripción gráfica
Aplacado de piedra de granito	0,02	2,8	
Cámara de aire ligera-mente ventilada 2 cm	0,02		
Aislamiento térmico	0,02	0,032	
Tabique LH sencillo 40<espesor<60 mm	0,05	0,445	
Enlucido de yeso 1.000<d<1.300	0,02	0,570	

RT= 0,04+0,02/2,8+ Rcamara +0,02/0,032 +0,05/0,445+ 0,02/0,570+0,13 [m^2 K/W];

Resistencia de la cámara de aire

El CTE dice que la resistencia térmica de una cámara de aire ligeramente ventilada es la mitad de los valores de la tabla E.2, apéndice E, HE-1.

Tabla 4.7 Resistencias térmicas de cámaras de aire en m^2K/W. Procedentes de la tabla 2. DA DB HE-1

Espesor (cm)	Cámara de aire sin ventilar	
	Cámara horizontal	Cámara vertical
1	0,15	0,15
2	0,16	0,17
5	0,16	0,18

Rcámara=0,17/2=0,085

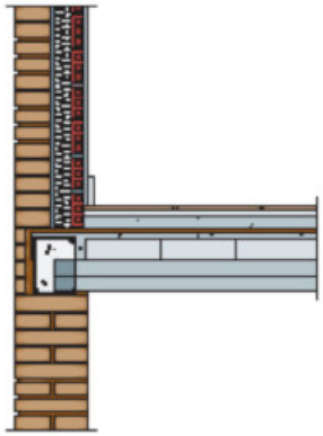
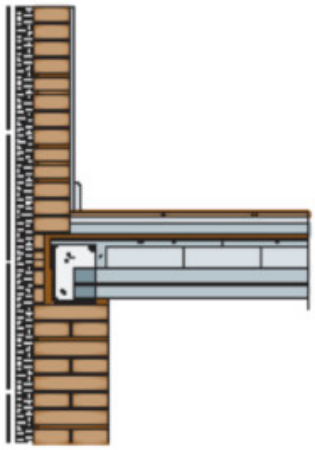
RT= 0,04+0,007+ 0,085 +0,625 +0,11+ 0,035+0,13 [m^2 K/W];

RT=0,04+0,18+0,69+0,11+0,035+0.13=1,022 m^2 K/W

U=1/RT; **U=0,97 W/ m^2K**

A continuación comparamos ambos sistemas.

Tabla 4.8 Tabla comparativa de soluciones constructivas. Fuente: Grespania.

Sistema tradicional de fachada de doble hoja	Sistema de fachada ventilada
	

Se ha calculado la transmitancia térmica de ambos sistemas. La primera solución (tradicional), formada por una fachada con doble pared y aislamiento ocupando toda la cámara; y la segunda solución (fachada ventilada), con cámara de aire y aislamiento térmico.

Se ha de destacar que en la solución de la fachada ventilada no existen puentes térmicos, por lo que el U global de la fachada es menor que el de la segunda solución.

Por otra parte, el hecho de colocar el aislamiento en la parte exterior del muro y los forjados aporta al edificio una mayor masa térmica, que se traduce en inercia térmica. Además, elimina las condensaciones en la parte interior del muro, debido a la diferencia de temperatura entre el aire en el interior de la cámara y el aire exterior junto a las separaciones del aplacado, lo que permite crear un flujo de aire que elimina la humedad en situaciones de lluvia o, en el caso de producirse, las condensaciones en la parte exterior del aislante.

En definitiva, el aislamiento por el interior genera una reducción en el espacio útil del local, lo que en muchas

ocasiones hace inviable esa opción.

El aislamiento por la cara exterior del cerramiento es una solución muy apta para los edificios con problemas de espacio, al mismo tiempo que permite eliminar gran parte de los puentes térmicos, como el de hornacinas, encuentros de fachada con forjados, capialzados, etcétera.

Los cerramientos tradicionales con el aislamiento térmico por la cara exterior han sido los más utilizados desde hace muchos años. Este capítulo presenta un estudio comparativo del comportamiento del cerramiento clásico con aislamiento exterior y los cerramientos técnicos con el aislamiento por la cara exterior con cámara de aire. En el diseño actual de fachadas, cada vez se emplea más esta solución por las indudables ventajas que ofrece desde el punto de vista del aislamiento del edificio, ventajas hemos estudiado y demostrado mediante los dos ejemplos que acabamos de ver.

5. Eficiencia energética de los cerramientos transparentes

El vidrio en la envolvente, además de desempeñar un papel vital en el intercambio de energía del edificio, es un elemento de expresión arquitectónica fundamental como se ha demostrado a lo largo de los siglos XIX y XX.

Sabemos que el hueco es el elemento a través del cual se transmite más energía y también que un buen diseño podría minimizar estas pérdidas o ganancias.

La siguiente figura 5.1 representa la distribución superficial de la temperatura de un edificio, obtenida mediante termografía de infrarrojos, técnica basada en la radiación

infrarroja emitida por los cuerpos y que permite ver la temperatura de una superficie con precisión en tiempo real y sin estar en contacto con ella. La siguiente imagen termográfica muestra la imagen de un edificio con su espectro de colores, en el que cada uno de los colores significa una temperatura distinta, de manera que la temperatura medida más elevada aparece en color blanco. En ella podemos observar los puntos débiles, esto es, los puentes térmicos o las pérdidas térmicas a través de las ventanas.

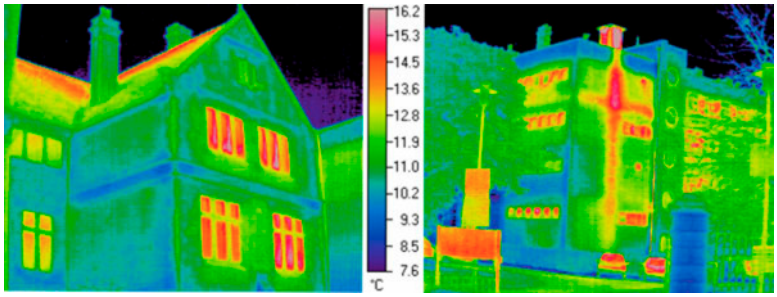


Figura 5.1 Termografía de un edificio.

En la actualidad, la industria de la construcción cuenta con una serie de vidrios que tratan de mejorar las prestaciones energéticas del vidrio sencillo allí donde se aprecian sus debilidades, es decir, pérdidas térmicas o bajo aislamiento con tiempo frío y ganancias térmicas excesivas por soleamiento en tiempo cálido. Hablamos, entre otros, del doble acristalamiento y los vidrios bajo emisivos y de control solar. Estos funcionan muy bien y proporcionan un gran ahorro energético; sin embargo, aunque son eficientes en unas condiciones muy concretas, pueden resultar perjudiciales en otras épocas. De hecho, según diversas fuentes, se estima que la instalación de vidrios bajo emisivos podría reducir las aportaciones solares en verano hasta un 50%, pero en invierno pueden resultar contraproducentes en las orientaciones que deseen ganancias solares, como la orientación sur en climas fríos. Estos vidrios no tienen la

posibilidad de cambiar sus propiedades, por esto los denominaremos vidrios estáticos y el análisis de sus prestaciones reales nos servirá para una mayor profundización en el estudio de los vidrios denominados cromogénicos.

En una envolvente transparente, la mayor parte de la energía transmitida se produce en forma de radiación, y una parte menor, por transmisión y convección.

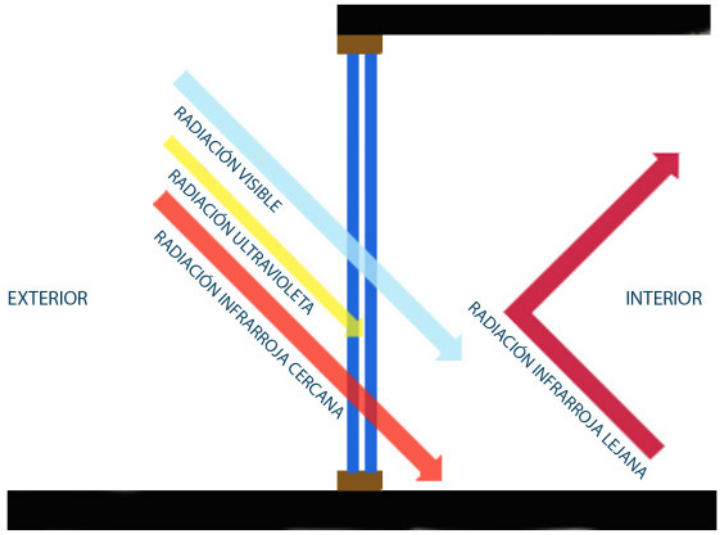


Figura 5.2 Esquema de cómo actúa el vidrio frente a los distintos tipos de radiación.

5.1. Tipología de vidrios

En las últimas décadas el vidrio se ha convertido en un material de construcción indispensable, dadas sus excelentes características y propiedades, con notable protagonismo en el ámbito de la expresión arquitectónica.

Durante el pasado siglo, hemos sido testigos de una gran evolución, tanto en el desarrollo de la fabricación del vidrio, que ha permitido la creación de nuevos tipos, como del gran desarrollo constructivo, que ha favorecido el aumento de las superficies acristaladas con respecto a la superficie total del cerramiento, trayendo consigo una baja significativa de los costes de producción de los acristalamientos y por

consiguiente de comercialización.

Los tipos de vidrio existentes en el mercado tienen que enfrentarse a situaciones climáticas cambiantes, lo que hace que los acristalamientos solo sean eficientes en una determinada época del año o en una situación concreta. Por este motivo estudiaremos los distintos tipos, con el fin de aprender a diferenciar los vidrios estáticos: los que no cambian sus propiedades a través del tiempo, de los dinámicos: los que son capaces de modificarlas, ya sea en función de las condiciones climáticas exteriores, ya sea por las necesidades del propio usuario. Pasemos a estudiarlos desde el punto de vista de su eficiencia energética.

5.1.1. Vidrios estáticos

Dentro de los vidrios estáticos, la industria de la construcción cuenta con una serie de productos acristalados que mejoran las prestaciones energéticas del vidrio sencillo en las situaciones en las que muestra sus debilidades, a saber, pérdidas térmicas o bajo aislamiento con tiempo frío y ganancias térmicas por soleamiento con tiempo cálido. Para la mejora de las prestaciones con respecto al aislamiento térmico encontramos:

Vidrio sencillo: Parámetros ópticos y térmicos del vidrio plano

Bajo esta denominación agrupamos aquellas tipologías que están formadas por una única hoja de vidrio. Las prestaciones térmicas de un vidrio monolítico, varían con el espesor, disminuyendo por tanto su transmitancia. Como referencia podemos tomar un valor 5,7 W/m^2 K y un factor solar (g) en torno a 0.83-09, pudiendo este último verse fuertemente afectado, si se tratase de un vidrio coloreado.

(La coloración de un vidrio hace disminuir su factor solar).

Como sabemos, el vidrio ordinario no actúa como una trampa para la radiación, sino que hace de trampa para la convección. Al vidrio común se le ha atribuido de manera incorrecta la característica de ser una trampa de la radiación del lejano infrarrojo, porque es opaco a la radiación infrarroja de onda larga emitida por los materiales de los edificios. El vidrio pierde su transparencia a longitudes de onda más largas que las contenidas en el espectro solar, pero en este caso la opacidad al infrarrojo es similar al comportamiento de un cuerpo negro. El vidrio actúa como una esponja para la radiación en presencia del infrarrojo lejano (infrarrojo cercano reflejado en las paredes). La superficie absorbe la energía de longitud de onda corta, transformándose en infrarrojo lejano, entonces el ambiente se calienta hasta que la energía solar entrante es igual a la energía saliente. El aire caliente también se transmite por convección hacia el vidrio, el cual también lo conduce a través de él hacia la superficie exterior (fig. 5.3).

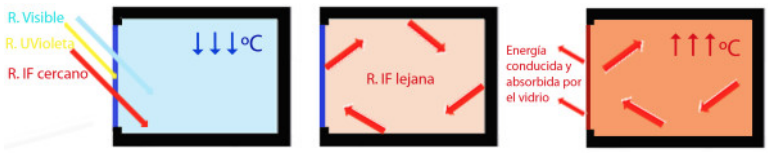


Figura 5.3 Esquema explicativo del proceso del efecto invernadero.

Una de las características más interesantes del vidrio es que bajo una longitud de onda de 2.500 nm (infrarrojo cercano) presenta una buena transmitancia, consintiendo que la radiación se transmita enteramente hacia el interior del ambiente. El comportamiento cambia para longitudes de onda mayores, siendo absorbido y calentando el interior del recinto (efecto invernadero).

Unidad de Vidrio Aislante (UVA)

Conocido como doble acristalamiento o, más comúnmente conocido por el nombre comercial de “climalit”. El vidrio con cámara hace referencia al conjunto formado por dos o más láminas de vidrios monolíticos separados entre sí por uno o más espaciadores, herméticamente cerrados a lo largo de todo el perímetro. Estas unidades de vidrio, al encerrar entre dos paneles de vidrio una cámara de aire, inmóvil y seco, aprovechando la baja conductividad térmica del aire, limitan el intercambio de calor por convección y conducción. La principal consecuencia es un fuerte aumento de la capacidad aislante reflejado en la drástica reducción de su transmitancia térmica (U= 3,3 W/m^2K, para la composición más básica 4-6-4). El aumento progresivo del espesor de la cámara proporciona una reducción paulatina de la transmitancia térmica. Esta reducción deja de ser efectiva cuando se producen fenómenos de convección dentro de la misma (en torno a los 17 mm).

Tabla 5.1 Tabla de la transmitancia térmica de varias composiciones de dobles acristalamientos. Fuente: IDAE

Composición	4/6/4	4/8/4	4/10/4	4/12/6
U (W/m^2K)	3,3	3,1	3,0	2,9

Al añadir una cámara de aire, disminuye el factor solar U en más de un 50%.

Respecto al control solar presentan un factor solar menor por el simple hecho de incorporar dos vidrios; así, para una UVA de 4-6-4, el valor g disminuye en torno a 0,75. La sustitución del vidrio exterior por un vidrio de control solar modifica el factor solar (g), disminuyéndolo. Asimismo, los

vidrios de baja emisividad aportan un control solar significativo, como veremos a continuación.

Vidrios de control solar

Han sido la primera mejora respecto a los tradicionales vidrios claros. Con ellos se logra reducir la carga térmica y el exceso de iluminación debido a la radiación solar entrante, bien con la utilización de vidrios coloreados en la que parte de la radiación incidente es parcialmente absorbida por el material y devuelta al exterior, o bien mediante la adición de depósitos químicos superficiales para que la radiación se refleje directamente en el exterior (los denominados vidrios reflectantes).

Las ventajas que presentan estos vidrios son una reducción del factor solar g, cualidades estéticas debidas a los efectos cromáticos y la visión del espacio exterior desde el interior durante el día, pero no a la inversa.

Los inconvenientes: no se mejora el factor U sino únicamente el factor solar; en la mayoría de los casos no hay un comportamiento selectivo, ya que se da una elevada transmisión en el espectro visible y una elevada reflexión en el sector del infrarrojo, lo que implica una escasa luminosidad de los ambientes; la reducción del factor solar no siempre es un dato positivo durante el transcurso del año, sobre todo en épocas invernales, cuando el aporte solar podría ser beneficioso; por último, pueden producir reflexiones hacia el interior llegando a provocar deslumbramientos.

Las prestaciones del factor solar g para un vidrio de control solar varían desde valores de 0,10 para los más reflectantes hasta valores de 0,60 para los vidrios incoloros de aspecto

neutro.

Vidrio doble con capa metálica de baja emisividad

Se trata de vidrios monolíticos sobre los que se ha depositado una capa de óxidos metálicos extremadamente fina, del orden de nanómetros, que proporcionan al vidrio una capacidad de aislamiento térmico reforzado.

Como hemos visto, el vidrio es prácticamente opaco a la radiación infrarroja de onda cercana, y el vidrio normal actúa como una «trampa» para la radiación del infrarrojo lejano. Es verdad que el vidrio pierde su transparencia ante las longitudes de onda más largas que las contenidas en el espectro visible, pero en este caso la opacidad al infrarrojo significa que se comporta como un cuerpo negro.

De hecho, todos los materiales (excepto los metales y recubrimientos de baja emisividad) se pueden considerar como cuerpos negros, porque absorben intensamente el infrarrojo lejano, sin importar su color. Por lo tanto, el vidrio actúa como una esponja para la radiación en presencia del infrarrojo lejano (radiación infrarroja reflejada) calentando con facilidad el vidrio y transmitiendo por conducción esa energía a través de él. Esto contradice la opinión, comúnmente admitida, de que el vidrio refleja el infrarrojo lejano hacia el interior.[1]

> **(Amstock, 1999), pág. 374.**

Una capa de baja emisividad y de alta transmisión solar es la primera «trampa» verdadera para la radiación, ya que se comporta como se creía, en un primer momento, que lo hacía el vidrio común. La alta reflectividad de una capa baja

emisiva al infrarrojo de onda larga hace rebotar la radiación infrarroja lejana. Puesto que sale menos radiación al exterior, la radiación neta se eleva, incluso después de tener en cuenta una transmisión solar reducida del vidrio con recubrimiento.

La baja emisividad en presencia de baja transmisión significa reflexión elevada. También significa que cualquier energía mantenida en el recubrimiento tiene un momento difícil para salir como radiación: la energía no se puede emitir desde la superficie, de aquí el nombre del producto: capa bajo emisiva.

Así que el recubrimiento de baja emisividad funciona como una trampa para la radiación al reflejar la radiación térmica, al mismo tiempo que permanece transparente para la luz diurna, y en algunos casos para la radiación solar entrante. Si se compara con las características espectrales del vidrio sencillo, la transmitancia se reduce notablemente, y la reflectancia es hasta un 75% mayor en el infrarrojo lejano.[2]

> **(Amstock, 1999), pág. 374.**

Estos vidrios exigen ir ensamblados en UVA (doble acristalamiento), y la capa de baja emisividad debe colocarse mirando hacia la cámara.

La disposición de la película permite al vidrio doble funcionar bien como captación solar o como filtro solar. Si se coloca la película sobre la cara 2 (cara interna del vidrio externo), se reduce el factor U y el factor solar, ya que la radiación es absorbida en la proximidad de la superficie externa. Si se coloca la película sobre la cara 3 (cara externa del vidrio interno), la radiación que atraviesa el vidrio externo golpea el vidrio interno, que no podrá devolverla al

interno dada la presencia del externo, por todo ello la ventana funciona como un captador solar.

Tabla 5.2 Tabla de la transmitancia térmica de varias composiciones de vidrios bajo emisivos. Fuente: IDAE

Composición Un vidrio normal y un vidrio de baja emisividad	**4/6/4**	**4/8/4**	**4/10/4**	**4/12/6**
U (W/m²K)	2,5	2,1	1,8	1,7

Vidrios con Aerogel

El aerogel es un material constituido por partículas de sílice y entre un 90 – 99.8% aproximadamente de aire. Se caracteriza por una estructura porosa, abierta, transparente y de baja densidad, que le confiere óptimas prestaciones tanto ópticas como energéticas.

El aerogel monolítico es extraordinariamente caro, es quebradizo y su transparencia no es perfecta. El aerogel en gránulos, llamado nanogel, convierte el acristalamiento en translúcido, con lo cual pierde la transparencia y las vistas.

Estos vidrios aportan altos valores de aislamiento, aproximadamente una transmitancia térmica de 0,5-0,6 W/m^2K (valor obtenido con 2 cm de aerogel), pero a cambio de sacrificar las vistas.

Vidrios al vacío

El principio fundamental del vidrio al vacío es eliminar cualquier gas en la cámara y así mejorar su aislamiento térmico al prescindir de la conductividad y de la convección del gas existente en la cámara.

Las ventajas principales son: espesores de la cámara mucho menores que con un doble acristalamiento tradicional; el aspecto de la ventana, casi idéntico a un vidrio de uso cotidiano, y la posibilidad de usar estos vidrios con bajos emisivos para reducir la transmisión térmica.

Su principal inconveniente es que la diferencia de presiones entre el exterior (aproximadamente de 1 atmósfera) y el interior genera unas tensiones sobre ambas caras del doble vidrio, comprimiéndolas hacia el interior, con el riesgo de que lleguen a tocarse en su parte central. Para eliminar este riesgo se introducen unos pequeños elementos de separación entre los dos paneles que impiden el contacto. Estos separadores (denominados en inglés *pillars*) tienen un pequeño impacto en la transparencia (son visibles) y en el aislamiento térmico conseguido, impactos que se convierten en pequeños puentes térmicos.

Las propiedades ópticas y el factor solar de los vidrios al vacío dependen de los vidrios que lo constituyen, generalmente vidrios planos flotados, con eventuales recubrimientos bajo emisivos. El factor U dependerá de las dimensiones y el número de separadores utilizados así como del tipo de vidrio utilizado. Actualmente y con tan solo 0,2 mm de cámara y unos 6 mm en total de espesor, encontramos vidrios que alcanzan un U de 1,1 W/m^2K y un g de 0,67, siendo uno de los vidrios bajo emisivos.[3]

> **Datos de la casa comercial Pilkington-Spacia.**

5.1.2. Vidrios dinámicos

La principal mejora desde los años setenta en el comportamiento energético de los acristalamientos se debe a

la incorporación de vidrios con capas metálicas, es decir, bajo emisivos y de control solar. Sin embargo, su empleo no soluciona por completo las deficiencias inherentes a los acristalamientos en el aspecto térmico. Últimamente se han incorporado vidrios con cámara de vacío o de aerogel en gránulos pero que palian de modo parcial el problema energético del acristalamiento, y en algunos casos perdemos la transparencia. Siguen siendo vidrios estáticos, que funcionan bien en una determinada época del año pero deficientemente en otra. De ahí que hayan surgido los llamados vidrios dinámicos, capaces de cambiar su color o transparencia frente a diversas condiciones, por ejemplo, al cambiar la cantidad de radiación que entra en un espacio, lo que permitiría reducir parcial o totalmente los elementos secundarios de oscurecimiento (persianas, lamas…). Su reacción, sea espontánea o provocada, frente a condiciones externas cambiantes, podría ser beneficiosa para el comportamiento energético del edificio.

La tecnología de estos últimos vidrios, llamados también en la literatura anglo-americana *smart glazings*, se encuentra a la vez en proceso de investigación y de comercialización, este muy lentamente. Adentrémonos en este mundo, aun muy poco conocido.

Una pregunta fácil de hacerse es ¿por qué hablamos de vidrios inteligentes? Se llaman vidrios cromogénicos a los que son capaces de cambiar su color-opacidad, bien en función de las condiciones externas a las que están expuestos, o bien aplicándoles un pequeño potencial eléctrico. Pues bien, hablamos de vidrios inteligentes cuando forman parte de un sistema ya inteligente, es decir, un edificio domotizado, que sepa actuar o reaccionar según las condiciones expuestas previamente y activar el mecanismo en cuestión. Entonces, en cuanto parte de dicho sistema,

podemos hablar de un vidrio inteligente.

La ventaja de uso de estos vidrios es que pueden ser utilizados tanto en climas cálidos como fríos, tanto en períodos invernales como estivales.

- En período invernal o climas fríos: el vidrio puede permanecer claro para permitir la máxima entrada de radiación solar, reduciendo el gasto de calefacción y consumo energético al eliminar el uso de persianas o protecciones solares.
- En períodos cálidos o períodos veraniegos: la radiación puede ser absorbida o reflejada por el cambio de color o de transparencia de la ventana, haciendo disminuir la temperatura interior del ambiente, con el consiguiente ahorro energético en aire acondicionado.

En ambos casos se reduce en gran parte el deslumbramiento provocado por la entrada de una excesiva iluminación.

Estos vidrios pueden clasificarse en dos tipos, que a continuación describiremos y estudiaremos por separado:

Vidrios pasivos
- Fotocrómicos
- Termocrómicos

Vidrios activos
- Electrocrómicos
- Gasocrómicos
- Vidrios de cristal líquido disperso
- Vidrio de partículas en suspensión

Vidrios dinámicos pasivos

Un vidrio pasivo es el que es capaz de cambiar su color o transparencia a partir de las condiciones externas climáticas a las que está expuesto el edificio. Se definen y se exponen a continuación las características principales de cada uno de ellos.

Fotocrómicos

Los vidrios fotocrómicos, aún en proceso de investigación, se basan en uno de los fenómenos de los cambios de estado más antiguos, pero datado desde 1960.

Este material cambia su transparencia en respuesta a la intensidad lumínica, oscureciéndose en función de la radiación, usualmente la ultravioleta, entre unas longitudes de onda que van desde los 300 a los 400 nm, y volviendo a sus propiedades originales en la oscuridad. Básicamente el fenómeno es el cambio reversible de una reacción química entre dos estados de energía con espectros de absorción distintos. Este cambio de estado es inducido por radiación electromagnética (usualmente la UV).

Los cristales fotocrómicos han sido ya usados y probados y son altamente conocidos en las lentes de las gafas de sol; cambian desde el claro en interiores a oscuro en ambientes exteriores.

Estos cristales pueden ser útiles en conjunción con la luz solar, pues permiten la transmisión suficiente de luz, según las necesidades requeridas, recortando los excesos de luz que crean demasiada luminosidad y sobrecargas del sistema de refrigeración.

Aunque se han fabricado pequeñas unidades en volúmenes reducidos, aún no está disponible en el mercado para el consumidor privado, debido a su elevado coste, ya que este

procedimiento no puede ser usado sobre el vidrio flotado común. Su utilización en la arquitectura resulta prohibitivamente costosa.

El rango de transmitancia visible varía entre un 83% (no activado o transparente) y un 33% con un color azul (activado). Sus propiedades en función de la transmisión de onda se muestran en la siguiente gráfica.

Ventajas

- Reaccionan a la variación de la intensidad de la luz natural.
- La luz del sol al incidir sobre el vidrio, lo activa oscureciéndolo.
- Reduce la sensación de deslumbramiento.

Desventajas

- Solo reaccionan a la luz solar.
- No tienen un control eficiente sobre el calor solar.
- No pueden ser controlados manual o eléctricamente por el usuario.
- Debido a que el sol en invierno está más bajo, y la entrada de radiación es más directa, podría producir un tintado mayor en el vidrio y, por tanto, incrementar las necesidades de iluminación eléctrica. En verano, debido a que el sol está más alto y la radiación es menos directa que invierno, el vidrio no se llegaría a colorear todo lo deseado y no bloquearía lo suficiente la entrada de radiación.
- Hasta el momento solo pueden ser producidos a pequeña escala (por ejemplo, la de las gafas de sol.

Termocrómicos

Un vidrio termocrómico cambia su transparencia en

respuesta a la temperatura, inducida por una reacción química. Los materiales termocrómicos se conocen desde 1870 aproximadamente, y al igual que el fotocromismo, el termocromismo es uno de los procesos cromogénicos más antiguos que se conocen.

Los materiales actualmente en vías de desarrollo para ventanas son geles compuestos de vidrio y plástico (hidrogeles de polímero), que varían desde un estado claro, cuando baja la temperatura, a un color difuso y blanco, que refleja la luz cuando sube la temperatura. En su estado activado, la visión a través de él es nula. Casas comerciales, como la que se muestra en la figura 5.4, han conseguido eliminar el color blanco o difuso por una tonalidad oscura, pero permitiendo la transparencia.

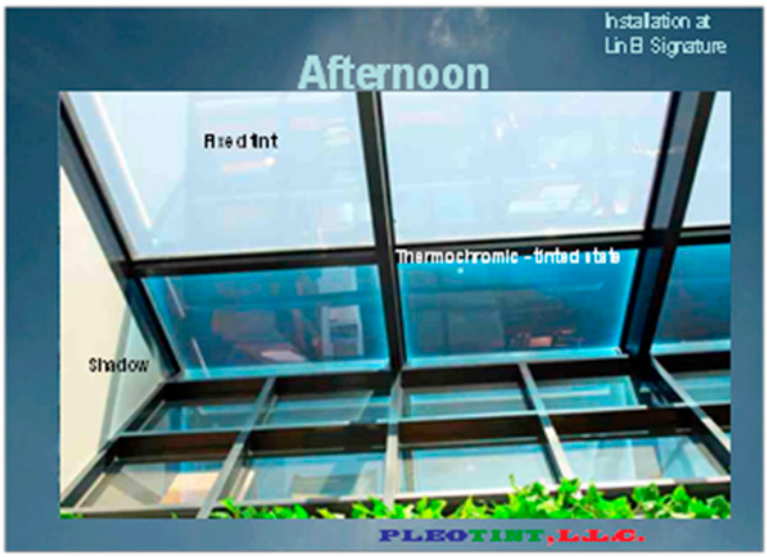


Figura 5.4 Vidrio termocrómico, activo e inactivo. Fuente: Pleotint.

Cuando el vidrio absorbe la radiación, a causa del laminado, la convierte en calor. Cuanto más se calienta el vidrio, tanto más oscuro se volverá. Debido a que el laminado solo absorbe radiación solar y la radiación varía en función de la posición del sol, la lámina termocrómica absorbe más radiación en los ángulos altos.

Vidrios dinámicos activos

Un vidrio activo cambia su transparencia al aplicarle una pequeña corriente eléctrica, controlada por los propios ocupantes del edificio o por una instalación domótica.

Vidrios de cristal líquido disperso (LCD)

Podemos definir el cristal líquido como una fase del vidrio entre los estados sólido y líquido. El cristal líquido es un tipo especial de estado de agregación de la materia que tiene propiedades de la fase líquida y de la sólida. Dependiendo del tipo de cristal líquido, es posible, por ejemplo, que las moléculas tengan libertad de movimiento en un plano, pero no entre planos, o que tengan libertad de rotación, pero no de traslación.

Consiste en una fina película de cristal líquido que se coloca entre dos conductores eléctricos transparentes sobre delgadas películas de plástico, todo ello es laminado entre dos capas de vidrio. Cuando el cristal líquido está apagado, aparece desordenado y desalineado, reflejando la luz y consiguiendo un estado translúcido.

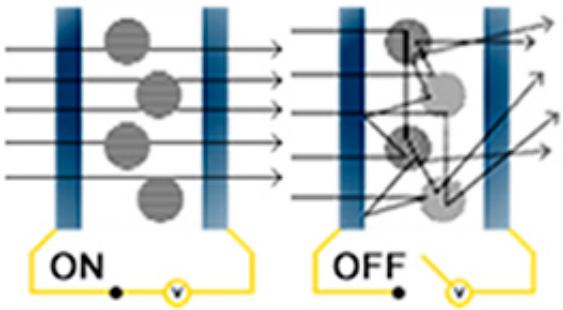


Figura 5.5 Ilustración del funcionamiento de un GDLC, conmutado entre el estado opaco y el transparente. La luz incidente es dispersada por las microgotas de GDLC (en OFF), mientras que aplicando un campo eléctrico se consigue un material transparente (en ON).

Los LCD conmutan a simple vista, con la ventaja de que no se necesitan polarizadores[4]

> **Un polarizador es un material con transmitancia selectiva a una determinada dirección de una onda electromagnética como la luz. Cuando un haz de luz atraviesa dicho material, la luz transmitida queda polarizada, disminuyendo su intensidad luminosa e incluso bloqueando su paso.**

. Los tiempos de conmutación entre los estados OFF y ON son del orden de ≈1 ms, y se busca su reducción, ya que esto incrementaría sus posibilidades de aplicación. La posibilidad de incorporar color es viable y actualmente se está investigando en esta dirección.

Los vidrios de cristal líquido tienen solamente dos estados: claro y difuso, y la potencia (0.5 W, operando entre 24 y 100V) debe ser continuamente aplicada al cristal para mantener el estado claro. El rango de transmitancia visible es aproximadamente del 50-80%, según el fabricante. Algunos productores ofrecen el vidrio en diversos colores e incluso curvados. Diversas aplicaciones realizadas recientemente con estos vidrios sobre los rayos ultravioleta permiten su aplicación en exteriores, pero comúnmente se usa en interiores.

Cuando el vidrio es desconectado de su sistema especial de suministro de corriente, los cristales líquidos son objeto de difusión aleatoria y difunden luz en todas las direcciones.

Aunque estos materiales han alcanzado una maduración en el mercado bastante alta, no son muy interesantes bajo el punto de vista del ahorro energético por diversas razones. En primer lugar, en el estado transparente, deben estar continuamente alimentados con consumos energéticos (20

W/m^2), además la diferencia de la transmitancia global entre el estado transparente y el opaco (entre un 20 y un 30% respectivamente en el espectro visible y solar) presenta variaciones aún menores del parámetro de factor solar. A diferencia de los electrocrómicos, como veremos más adelante, son capaces de difundir la luz con un elevado rango de modulación, por ello se aplican como apantallamiento con fines divisorios de áreas, por ejemplo, en oficinas, limusinas…

Ventajas

- Para cerramientos y tabiquería interior.



Figura 5.6 Imagen de los distintos usos de un vidrio de cristal líquido disperso: transparente, opaco o como proyector de imágenes.

Desventajas

- Incluso en modo translúcido (apagado), hay una excesiva entrada de calor y luz solar.
- No ayuda a reducir las cargas de aire acondicionado en verano.
- Requiere un suministro eléctrico constante para mantenerlo activado (transparente).
- Si se usa en el exterior, debe usarse con vidrio de control solar o bajo emisivo, pues la capa de cristal líquido resulta altamente dañada por la radiación ultravioleta, por lo que no pueden usarse en el exterior

Gasocrómicos

En esencia, un vidrio gasocrómico está compuesto de gas

hidrógeno, solo o mezclado con otros gases inertes, que en cooperación con una capa electrocatalítica[5]

> **Una capa electrocatalítica es una capa con un catalizador que participa en una reacción electroquímica. Los materiales catalizadores son capaces de modificar e incrementar la velocidad de las reacciones químicas. El electrocatalizador ayuda en la transferencia de electrones entre el electrodo y los reactivos, facilitando la transformación química establecida.**

sirve de fuente de iones. Bajo la aplicación de un potencial entre la capa electrocatalítica y el conductor transparente, los iones formados en el catalizador pueden ser transportados a través de un conductor de iones a la capa electrocrómica[6]

> **La capa electrocrómica tiene la capacidad de cambiar de transparente a tintado mediante una reacción química provocada por el paso de corriente eléctrica.**

, causando la coloración en su superficie. A la inversa, aplicando el potencial y exponerlo al oxígeno, se provoca una huida de los iones desde el electrodo electrocrómico que vuelve a su estado transparente.

Estos vidrios son parecidos a los electrocrómicos; el color del vidrio es debido al hidrógeno introducido.

El componente activo de un vidrio gasocrómico es una película de óxido de tungsteno (WO_3), más delgada que 1µm de espesor, y laminada con un catalizador. Esta capa está localizada en la superficie interior del panel exterior de un triple vidrio. Cuando dicha película es expuesta a una baja concentración de hidrógeno, adquiere un color azulado, reduciendo la visibilidad y los valores de transmitancia visible. Si en la concentración del hidrógeno se produjeran

variaciones, cambiaría el color. Bajo la exposición a una pequeña concentración de oxígeno, vuelve a su estado original (transparente). La mezcla de gas es introducida en la cámara entre el panel exterior e intermedio de un triple vidrio. La segunda cavidad y el tercer vidrio, que suele llevar una capa bajo emisiva, aseguran que el vidrio gasocrómico obtenga unas propiedades térmicas adecuadas.

La transmitancia puede variar entre 0,10 y 0,59 W/m^2K. Niveles de transmitancia menores que 0,01 para privacidad o control de la luminosidad son posibles.

El gas requerido para el funcionamiento del sistema se produce en el interior de un circuito cerrado. El control de la unidad puede hacerse tanto manual como automáticamente. La integración en un sistema domótico previamente incorporado a la vivienda permitiría al vidrio encenderse o apagarse en función de las condiciones lumínicas, térmicas y de confort deseadas por el usuario.

Ventajas

- Puede ser controlado por el propio usuario mediante una instalación domótica.
- Según estudios, es capaz de reducir las cargas térmicas de aire acondicionado y calefacción.

Desventajas

- Alta complicación tecnológica a la hora de instalar el vidrio.

Vidrio de partículas en suspensión (spd)

Este vidrio, controlado mediante electricidad, utiliza una delgada capa de líquido, en el que numerosas partículas microscópicas están suspendidas. En un estado apagado, las

partículas están desordenadas y bloquean parcialmente la transmisión solar y la vista. Conductores eléctricos transparentes permiten la aplicación de un campo eléctrico en la película de partículas dispersas, alineándolas y aumentando así la transmitancia.

Su transmitancia varía desde 0,22-0,05 a 0,57-0,12 (W/m^2K).

El tiempo de encendido es más limitado que el electrocrómico y requiere unos 100 voltios desde el estado de apagado (coloreado) al de encendido (casi transparente), y puede ser modulado en cualquier estado intermedio. La potencia requerida es de 0,05W, tanto para encenderlo como para mantenerlo en una transmisión constante, si no está apagado. Estos productos están entrando actualmente en el mercado, pero su coste es elevado.



Figura 5.7 Apagado (opaco) y encendido (transparente) de un vidrio de partículas en suspensión (SPD).

Ventajas

- Fácil instalación.
- Puede ser controlado por el propio usuario.

Desventajas

- Requieren una constante aportación eléctrica para cambiar de estado.
- No aguantan la radiación ultravioleta.

Vidrios electrocrómicos

Una capa electrocrómica (a partir de ahora se denominará EC) es un conjunto de capas «activables» de delgadas películas que, aplicadas al cristal o al plástico, pueden cambiar la apariencia desde un tono claro (amarillo claro) a un azul oscuro (azul de Prusia), cuando se le aplica un pequeño voltaje, pero permitiendo siempre la visión a través de él. Es una acción electroquímica reversible la que causa la apariencia del vidrio tintado.

En la siguiente figura se observa la diferencia de trasmisión-reflexión, del estado claro al oscuro. En la imagen de la derecha (vidrio no activado), la transmisión es total (de un 85%). Sin embargo, en un vidrio coloreado, la transmitancia es menor (en función del rango aplicado), provocando el fenómeno de la reflexión.

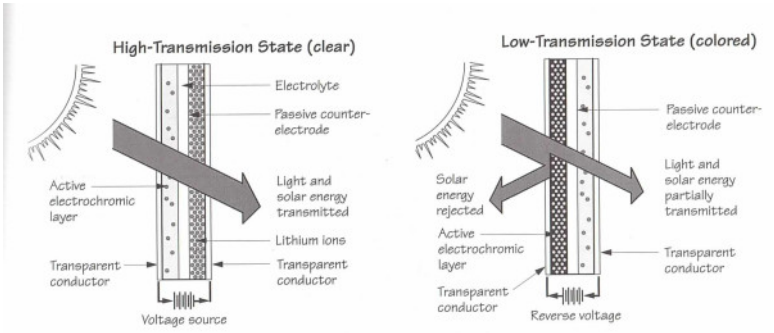


Figura 5.8 Diagrama de un vidrio electrocrómico.

El material y la composición física del vidrio puede variar, y cuando lo hace, cambia también sus características intrínsecas: rango de apagado, velocidad, transmitancia visible, consumo eléctrico, durabilidad y color.

Apariencia y tintado

El tintado de una ventana EC varía desde un claro amarillo

verdoso a un azul oscuro (azul prusiano) en función del tipo de vidrio EC usado. En cualquier estado, la ventana permite una visión perfecta sin distorsiones o neblina (fig. 5.9).



Figura 5.9 Las distintas coloraciones que adquiere un vidrio electrocrómico. Ball State University, Muncie (Indiana).

Características ópticas de los vidrios:

La transmitancia visible (Tv) y el coeficiente de ganancia de calor (SHGC) varían dependiendo de la composición del material. El factor U no se ve afectado por el tintado, permaneciendo siempre invariable. Generalmente, el rango entre encendido y apagado varía según las condiciones ambientales exteriores:

He aquí los datos de un vidrio EC cuando ambos vidrios exteriores son vidrios laminados sin tintar.[7]

Datos Sage-Glass.

- Tv=0.60-0.50 para el estado apagado y Tv=0.25-0.10 para el totalmente coloreado encendido). Se han observado niveles de transmitancia visible, pero solo en capas muy especializadas.
- SHGC=0.48-0.09
- U factor=1.59-1.87 W/m^{2}K. Permanece invariable en el estado de encendido.
- Factor de sombra SC: 0.67-0.60 para el estado apagado,

y 0.30-0.18 para el totalmente coloreado.

Para encender un vidrio electrocrómico se requiere una potencia de bajo voltaje, y un muy bajo voltaje para mantenerlo en un estado constante, independientemente del nivel de tintado, todo ello en función del tipo de vidrio.

Ventajas

- Para ventanas EC con control de estado intermedio (disponible en los próximos años), los beneficios serían los siguientes:
- Significativo aumento de las vistas si se comparan con ventanas convencionales con protecciones solares, cuando en situaciones críticas estas ventanas tendrían las persianas bajadas. Las características visuales son mejoradas en el vidrio EC, en su estado coloreado, en relación con las necesidades de confort de la persona y con la visión del exterior.
- Reducir las necesidades de usar oscurecedores o elementos que den sombra.
- Ahorro significativo del uso de energía eléctrica, si la ventana está colocada y controlada adecuadamente. Estos ahorros son mayores en climas cálidos y si las fachadas de vidrios EC están orientadas a sur, este y oeste.
- Reducción de la demanda energética debida a la reducción de las ganancias solares cuando el vidrio está en su máximo estado de encendido.
- Rebaja de la capacidad de la climatización debida a la reducción de las cargas energéticas

Desventajas

- A veces, para bloquear el efecto del sol directo, una ventana EC deberá combinarse con persianas tipo veneciana o similar en bajas temperaturas (tintado lento),

grandes superficies y si la transmitancia visible del vidrio es superior a 0,03 W/m^2K.Puede producir deslumbramiento, puesto que a veces el EC es insuficiente para controlar la luminosidad.

- Según ciertos estudios, no pueden asumir el control completo de la radiación directa, provocando efectos tales como deslumbramiento.
- Largos tiempos de encendido y color final no uniforme.

5.2. Ejemplo práctico

Por último, calcularemos la transmitancia térmica y el factor solar modificado de unos ejemplos de cálculo de una ventana completa, según la HE-1, de un doble acristalamiento con vidrio tradicional y posteriormente con vidrio bajo emisivo

Pero antes sería conveniente analizar los distintos tipos de vidrio vistos hasta ahora teniendo en cuenta los dos parámetros básicos: la transmitancia térmica y el factor solar. Es interesante observar en la figura 5.10 comó a medida que mejora la transmitancia térmica U y, por tanto, las prestaciones de aislamiento, se reducen sus cualidades ópticas, esto es, el factor solar, de manera que el vidrio se vuelve cada vez más oscuro.

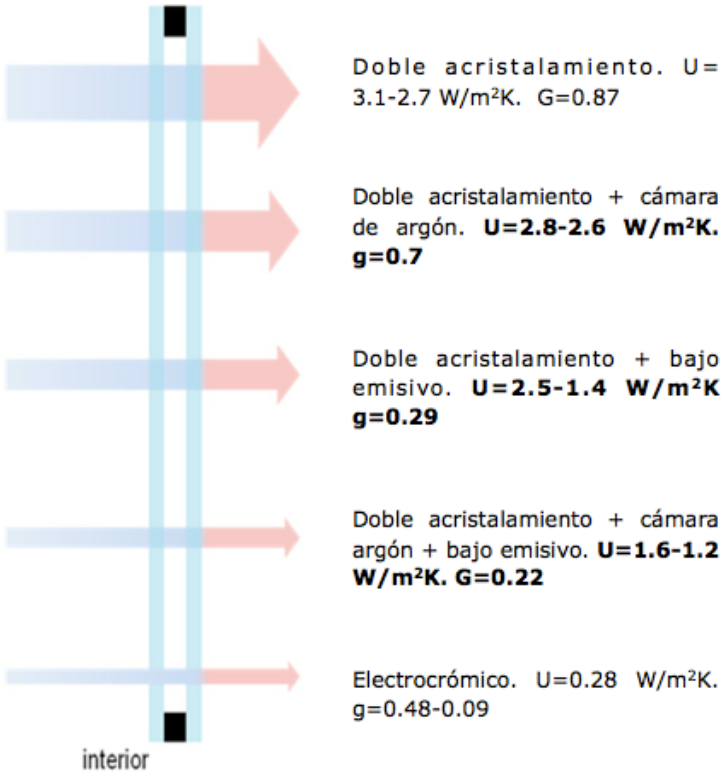


Figura 5.10 Resumen de las cualidades ópticas y térmicas de diversos tipos de acristalamiento.

Cálculo de un hueco según la HE-1

Ejemplo 1

Cálculo de una ventana constituida por un doble acristalamiento 4/12/4 y carpintería de PVC con rotura de puente térmico, color marrón medio, con un retranqueo de 0,15 m. Orientación sur. Dimensión de la ventana: 2 m de ancho y 1 m de altura. Fracción de la parte opaca: 0.20. Localidad: Madrid.

Del programa Líder, descargado gratuitamente, obtenemos los valores que necesitamos:

U_H el vidrio 4/12/4: 2,80 W/m^{2}K

U_M carpintería de PVC con rotura de puente térmico: 2,40 W/m^{2}K

FM=0,20

A partir de la fórmula descrita anteriormente:

$$U_H = (1\text{-}0{,}25) \times 2{,}80 + 0{,}20 \times 2{,}4 = 2{,}1 + 0{,}48 = 2{,}58;$$

$$\mathbf{U = 2{,}58\ W/m^2K}$$

El valor de U de todo el hueco incluyendo el vidrio y el marco es 2,85 W/m^2K.

Tabla 5.3 Valores límite de los parámetros característicos medios. Procedentes de las tablas 2.3 y 2.4 y 2.5. Capítulo 2. HE-1

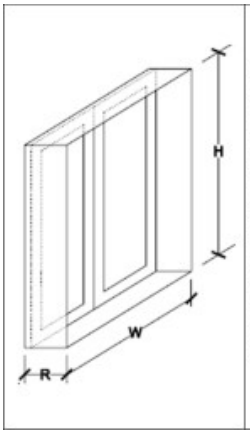
Transmitancia térmica (W/m^2K)	Zona climática de inverno					
	Zona α	Zonas A	Zonas B	Zonas C	Zonas D	Zonas E
Muros y elementos en contacto con el terreno	1,35	1,25	1,00	0,75	0,60	0,55
Suelos y cubierta en contacto con el aire	1,20	0,80	0,65	0,50	0,40	0,62
Huecos	5,70	5,70	4,20	3,10	2,70	2,50
Particiones horizontales y verticales de distinto uso	1,35	1,25	1,10	0,95	0,85	0,70
Particiones horizontales que delimitan un mismo uso	1,90	1,80	1,55	1,35	1,20	1
Particiones verticales que delimitan un mismo uso	1,40	1,40	1,20	1,20	1,20	1,00

Pasemos a calcular el factor solar modificado, según la fórmula de la HE-1.

$$F = F_S[(1 - FM)g + FMx0.04U_m\alpha]$$

Obtenemos el factor de sombra de las tablas de la HE-1, tabla E.12, apéndice E.

Tabla 5.4 Factor de sombra para obstáculos de fachada: retranqueo. Procedente de la tabla 12. DA DB HE -1



ORIENTACIONES DE FACHADAS			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

F_S=0,74

g=0,75 (obtenida del programa Líder)

FM=0,25

U_M=2,40

La absortividad α se obtiene de la tabla 10 DA DB HE / 1. (5.5)

Tabla 5.5 Absortividad del marco para radiación solar α. Procedente de la tabla 10. DA DB HE-1

Color	Claro	Medio	Oscuro
Blanco	0,20	0,30	----
Amarillo	0,30	0,50	0,70
Beige	0,35	0,55	0,75
Marrón	0,50	0,75	0,92
Rojo	0,65	0,80	0,90
Verde	0,40	0,70	0,88
Azul	0,50	0,80	0,95
Gris	0,40	0,65	——
Negro	——	0,96	——

α=0,75

F=0,74[(1-0,25)0,75+0,25x0,04x2,40x0,75]=0,43.

F=0,43

Ejemplo 2

Cálculo de una ventana constituida por un doble acristalamiento con vidrio bajo emisivo 4/6/4 y carpintería de PVC con rotura de puente térmico, color marrón medio, con un voladizo de 0,60 m. Orientación sur. Dimensión de la ventana: 2 m de ancho y 1 m de altura. Fracción de la parte opaca: 0.25. Distancia de la ventana al voladizo: 0,50 m. Localidad: Madrid.

Del programa Líder, descargado gratuitamente, obtenemos los valores que necesitamos:

U_H el vidrio 4/6/4: 2,3 W/m^{2}K

U_M carpintería de PVC con rotura de puente térmico: 2,40 W/m^{2}K

FM=0,25

A partir de la fórmula descrita anteriormente:

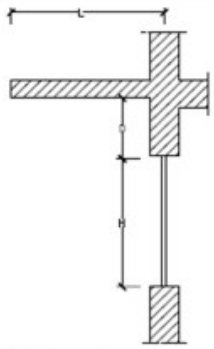
U_H = (1-0,25) x 2,3 + 0,25 x 2,4 =2,325**; U=2,325 W/m^{2}K**

El valor de U de todo el hueco incluyendo el vidrio y el marco es 2,325 W/m^{2}K.

Pasemos a calcular el factor solar modificado, según la fórmula de la HE-1.

Obtenemos el factor de sombra de las tablas de la HE-1.

Tabla 5.6 Factor de sombra para obstáculos de fachada: voladizo. Procedente de la tabla 11. DA DB HE-1



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≤0,5	0,5<L/H≤1	1<L/H≤2	L/H>2
S	0<D/H≤0,2	0,82	0,50	0,28	0,16
	0,2<D/H≤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≤0,2	0,90	0,71	0,43	0,16
	0,2<D/H≤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≤0,2	0,92	0,77	0,55	0,22
	0,2<D/H≤0,5	0,96	0,86	0,70	0,43
	D/H>0,5	0,99	0,96	0,89	0,75

F_S=0,87

g=0,70 (obtenida del programa Líder)

FM=0,25

U_M=2,40

La absortividad α se obtiene de la tabla 10 DA DB HE-1. (5.7)

Tabla 5.7 Absortividad del marco para radiación solar α. Procedente de la tabla 10. DA DB HE-1.

Color	Claro	Medio	Oscuro
Blanco	0,20	0,30	----
Amarillo	0,30	0,50	0,70
Beige	0,35	0,55	0,75
Marrón	0,50	0,75	0,92
Rojo	0,65	0,80	0,90
Verde	0,40	0,70	0,88
Azul	0,50	0,80	0,95
Gris	0,40	0,65	——
Negro	——	0,96	——

α=0,75

F = 0,87 [(1-0,25) 0,70 + 0,25x0, 04x2, 40x0, 75] = 0,47

***F* = 0,47**

Por último, comprobamos las transmitancias máximas en la tabla 2.2, valores límite de los parámetros característicos medios de ambas ventanas, según la localidad de Madrid, zonificación climática D3.

Tabla 5.8 Valores límite de los parámetros característicos medios. Procedentes de las tablas 2.3 y 2.4 y 2.5. Capítulo 2. HE-1

Transmitancia térmica (W/m²K)	Zona climática de inverno					
	Zona α	Zonas A	Zonas B	Zonas C	Zonas D	Zonas E
Muros y elementos en contacto con el terreno	1,35	1,25	1,00	0,75	0,60	0,55
Suelos y cubierta en contacto con el aire	1,20	0,80	0,65	0,50	0,40	0,62
Huecos	5,70	5,70	4,20	3,10	2,70	2,50
Particiones horizontales y verticales de distinto uso	1,35	1,25	1,10	0,95	0,85	0,70
Particiones horizontales que delimitan un mismo uso	1,90	1,80	1,55	1,35	1,20	1
Particiones verticales que delimitan un mismo uso	1,40	1,40	1,20	1,20	1,20	1,00

Se observa que cumple la U.

Por último, debemos comprobar y determinar los parámetros de transmitancia de todos los elementos de la *envolvente térmica* del edificio de referencia, establecidos en el apartado D.2, apéndice D, CTE-HE-1 (2013), según la zona climática donde esté situado el edificio.

6. Anexo. Definiciones

Para facilitar la compresión de este libro se aportan definiciones de todas las variables y los parámetros requeridos para una caracterización completa de un cerramiento. La información se organiza en dos bloques: caracterización de cerramientos opacos y cerramientos

transparentes.

Caracterización de cerramientos opacos

- *Absorción solar*. Se refiere a la energía solar incidente absorbida por la superficie y que no es reflejada ni transmitida. Este parámetro afecta al cálculo térmico a través de la ganancia solar indirecta y la temperatura del aire. En ventanas, este valor se relaciona con el coeficiente de sombra. Valor entre 0 y 1.

- *Transparencia*. Este valor define la cantidad de luz visible transmitida a través del material. Para materiales opacos, este valor es 0, mientras que para un vidrio, puede llegar hasta 0,96.

- *Admitancia térmica*. En régimen dinámico (cuando la temperatura no es constante) se define la admitancia térmica de un cerramiento como la relación entre la oscilación del flujo de calor que atraviesa una cara del cerramiento y la oscilación de temperatura que provoca en el ambiente adyacente. Representa la potencia energética necesaria para hacer oscilar un grado la temperatura. La Norma EN ISO 13786 prescribe utilizar el símbolo Y_m para representar la admitancia de un cerramiento (donde m representa la cara sobre la que se desea dar el valor, normalmente la cara interior o exterior del cerramiento). Se expresa en W/m^2K.

- *Calor específico*. Es el parámetro que permite caracterizar a los materiales haciendo referencia a la capacidad para acumular calor en su masa. Se define como calor específico de un material a la cantidad de calor que es preciso suministrar a una unidad de peso del material para incrementar su temperatura en una unidad. En el Sistema Internacional se utiliza como unidad en julios

por kilogramo y por kelvin [J/kgK].

- *Conductividad térmica*. Es el parámetro que se utiliza para caracterizar a los materiales haciendo referencia a la capacidad de transmitir el calor. La conductividad térmica es el flujo de calor que, en régimen estacionario, atraviesa un material de caras plano-paralelas de espesor unitario durante una unidad de tiempo, cuando la diferencia de temperatura entre sus caras es de una unidad. La unidad de conductividad térmica en el Sistema Internacional es el W/mK.

- *Coeficiente de Transmisión Térmica*. Es el parámetro que permite caracterizar a los elementos constructivos en lo concerniente a su capacidad para transmitir el calor (grado de aislamiento). Se define como la cantidad de calor que atraviesa un elemento de construcción de superficie unidad, durante una unidad de tiempo, cuando la diferencia de temperaturas entre sus caras es de una unidad. Según el CTE-HE-1: «Es el flujo de calor, en régimen estacionario, dividido por el área y por la diferencia de temperaturas de los medios situados a cada lado del elemento que se considera». Coeficientes de transmisión térmica muy bajos indican aislamientos elevados. El cálculo de U de un cerramiento compuesto por distintos materiales de espesor e, y con conductividades λ, se expresa a partir de la siguiente fórmula:

$$\frac{1}{U} = R_E + \frac{e_1}{\lambda_1} + \frac{e_2}{\lambda_2} + \ldots + R_i$$

Siendo:

Re y Ri, las resistencias térmicas superficiales (Re, Ri) que representan la dificultad para la transmisión de calor que se produce por el cambio de un medio

transmisor a otro (del aire al elemento constructivo o viceversa). Unidades en el SI: [W/m² K]. (Ambos parámetros se obtienen del CTE, tabla E1.)
e: espesor del material en metros.[1]

> **Normativa de aplicación: EN: 673. Vidrio en la construcción. Determinación del coeficiente de transmisión térmica, U.**

- *Desfase térmico*. Retraso térmico. El retraso térmico de un edificio, comúnmente llamado en inglés *Thermal Lag,* es el tiempo que tarda la temperatura máxima en atravesar el material, y es responsable de la inercia térmica de un material. Se mide en horas.[2]

> **Se denomina inercia térmica de un cerramiento o un edificio o local al conjunto de características térmicas dinámicas del mismo**

- *Factor de amortiguación térmico*. En régimen dinámico (cuando la temperatura no es constante) indica la relación entre la oscilación de la temperatura exterior y la oscilación de la temperatura interior. Representa el rango de fluctuación de temperaturas en una cara de un material comparado con el otro. Es la reducción de la temperatura cíclica en la superficie interior en comparación con la superficie exterior. Por ejemplo, un material con un valor de desfase térmico de 0,5 que experimenta una variación diurna de 20 grados en la temperatura de la superficie externa experimentará una variación de 10 grados en la temperatura de la superficie interior. Se da siempre en un rango de 0 a 1. Factores altos indican temperatura interiores muy estables. El

procedimiento de cálculo del factor de amortiguación y desfase de un cerramiento partiendo de la naturaleza y espesores de cada una de sus capas se detalla en la Norma EN ISO 13786 (se trata de un cálculo matricial sobre números complejos que suele exigir la utilización de herramientas informáticas como, por ejemplo, el Ecomat v.1.0.

Cerramientos transparentes

- *Factor de sombra*. Es la fracción de la radiación incidente en un hueco, que no es bloqueada por la presencia de obstáculos de fachada, tales como retranqueos, voladiza, toldos, salientes laterales u otros. Mientras más bajo sea el valor de Sc, más eficiente es el control solar del sistema de vidriado. El coeficiente de sombra se calcula dividiendo el factor solar por 0,87, que corresponde al factor solar de un cristal incoloro de 3 mm de espesor. El Sc de un cristal de 3mm es 1. En cerramientos opacos, este valor se relaciona con la absorción solar.

$$\mathrm{Sc} = \frac{\mathrm{g}}{0,87}$$

  Según el CTE-HE-1, «es la fracción de la radiación incidente en un hueco que no es bloqueada por la presencia de obstáculos de fachada tales como retranqueos, voladizos, toldos, salientes laterales u otros». La normativa de aplicación es la EN-410. Vidrio para la edificación. Determinación de las características luminosas y solares de los acristalamientos.

- *Color*. Expresa la cantidad de luz absorbida o reflejada por una superficie, en función de la longitud de onda. En Ecotect se define el color de las superficies externas e internas de un material introduciendo las coordenadas

RGB (valor numérico que indica la cantidad de rojo, verde y azul que contiene un color).[3]

> **IEC 61966-2-1 (1999-2010), Multimedia systems and equipment – Colour measurement and management – Part 2-1: Colour management – Default RGB colour space – sRGB**

- *Emisividad*. Según la define el CTE–HE-1, es la «capacidad relativa de una superficie para radiar calor». Los factores de emisividad van de 0,0 (0%) hasta 1,0 (100%). En otras palabras, se refiere a la capacidad del edificio para reflejar la radiación infrarroja de onda larga. Es un valor dado entre 0 y 1. La medida de la capacidad de una superficie de absorber o reflejar la energía radiante. Cuanto menor es el valor nominal de emisividad, mayor es la característica de aislamiento del sistema de vidriado en relación con la pérdida de calor. Un vidrio bajo emisivo es un vidrio monolítico en el que se ha depositado una fina capa de óxidos metálicos, suficiente para proporcionar al vidrio una capacidad de aislamiento térmico reforzado. Normalmente estos vidrios deben ir ensamblados en un doble acristalamiento para que así ofrezcan sus máximas prestaciones de aislamiento térmico.
- *Emitancia de infrarrojos capa exterior onda larga*. Emisividad hemisférica (reflectancia de onda larga) de la cara exterior.
- *Emitancia de infrarrojos capa interior onda larga*. Emisividad hemisférica (reflectancia de onda larga) de la cara interior.
- *Especularidad.*. Se refiere a la naturaleza de difusión de una superficie, y es la inversa de la rugosidad (véase la

definición más abajo). Es un valor entre 0 y 1, donde 0 representa una difusión completa (superficie rugosa) y 1, un espejo perfecto.

- *Factor solar*. Según el *Manual del vidrio*, el factor solar es «la relación entre la energía total que entra en el local a través de dicho acristalamiento y la energía solar incidente. Esta energía total es la suma de la energía solar que entra por transmisión directa y la energía cedida por el acristalamiento al espacio interior, tras su calentamiento por absorción energética». Cuanto más bajo sea el factor solar, menores serán las aportaciones solares. Normativa de aplicación EN-410. Vidrio para la edificación. Determinación de las características luminosas y solares de los acristalamientos.

- *Índice de refracción*. Se refiere a la propiedad del vidrio que afecta a la luz incidente y, por lo tanto, a la radiación solar y las sombras. Adimensional. Valores en tanto por ciento o tanto por uno (0-1).

- *L*a*b (CIELAB color space) de la Tv*. Espacio de color del CIELAB (CIE 1976 L*a*b*). Es el modelo cromático usado normalmente para describir todos los colores que puede percibir el ojo humano. Los tres parámetros del modelo representan la luminosidad de color (L*, L*= 0 rendimientos negro y L*= 100 indica luminosidad blanca), su posición entre magenta y verde (a*, valores negativos indican verde mientras valores positivos indican magenta) y su posición entre amarillo y azul (b*, valores negativos indican azul y valores positivos indican amarillo).[4]

Norma UNE 72.031: 83. Magnitudes colorimétricas

- *Reflectancia solar*. Cantidad de energía solar (visible, infrarroja y ultravioleta) reflejada por la ventana, expresada como porcentaje. Podemos diferenciar dos valores: los de la capa externa y los de la interna.
- *Reflectancia visible*. Cantidad de luz visible reflejada por la ventana, expresada como porcentaje. Un valor nominal de Rv más alto brinda un mejor control del resplandor. Las películas con valores nominales más altos tienden a ser más reflexivas o más oscuras. Podemos diferenciar dos valores: capa externa y capa interna.
- *RGB*. Los parámetros (*red, green, blue*: rojo, verde, azul) de un color hacen referencia a la composición del color en términos de la intensidad de los colores primarios con que se forma: el rojo, el verde y el azul.[5]

> **Basado en el Espacio de Color del CIE 1931**

- *Rugosidad*. Este valor se refiere al grado de imperfección de una superficie. Un valor 0 representa una superficie perfectamente lisa y plana, y 1 indica una superficie extremadamente ondulada.
- *Solar Heat Gain Coefficient o Ganancia de Calor Solar*. Su valor, entre 0 y 1, representa la cantidad de radiación solar relativa que pasa a través de un material comparado con un vidrio flotado incoloro de 3 mm. Cuanto más cercanos a 0 sean los valores, más baja es su transmisión solar. SHGC=Sc x 0,87 / Tv
- *Transmitancia solar*. Cantidad de energía solar (visible, infrarroja y ultravioleta) que atraviesa la ventana, expresada en porcentaje.

- *Transmitancia de infrarrojos de onda larga*. Cantidad de radiación infrarroja de onda larga que atraviesa la ventana, expresada en porcentaje.
- *Transmitancia de infrarrojos de onda corta*. Cantidad de radiación infrarroja de onda corta que atraviesa la ventana, expresada en porcentaje.
- *Transmitancia Térmica*. El concepto de este valor para cerramientos transparentes es el mismo que el definido anteriormente para los opacos.
- *Transmitancia visible*. Este valor representa la cantidad de luz visible transmitida a través del material, expresado en porcentaje. Un valor nominal de Tv más bajo tiende a controlar mejor el resplandor; mientras que se prefiere un valor nominal más alto para mantener la luz natural. Valores en tanto por ciento o tanto por uno (0-1).
- *Radiación solar*. La radiación solar está formada por una mezcla de ondas electromagnéticas de diferentes frecuencias. Algunas de ellas (las de longitud de onda comprendida entre 0,4 μm y 0,7 μm) pueden ser detectadas por el ojo humano y constituyen la luz visible. Otras, aunque no son visibles, hacen notar igualmente sus efectos, al ceder a los cuerpos la energía que transportan. Parte de esa radiación extraterrestre llega a la Tierra sin haber sufrido ninguna modificación en trayectoria. Es la que se denomina radiación directa. El resto de la radiación es absorbida o reflejada por las partículas en suspensión, los gases, el vapor de agua o las nubes que se encuentran en la atmósfera. Una parte de esta energía es devuelta al espacio y otra llega a la superficie terrestre en forma de radiación difusa. Tanto la radiación directa como la difusa cuando llegan a la

superficie terrestre y a los elementos que en ella se encuentran son una fracción absorbida y otra reflejada, siendo esta última la radiación más difícil de evaluar. La radiación global medida sobre cualquier elemento será la suma de las radiaciones directa, difusa y reflejada que inciden en él. Representa un 45% de la radiación recibida por las capas exteriores de la atmósfera. Esta cantidad varía a la largo del día; por la mañana, la radiación solar deberá recorrer más longitud de atmósfera al ser el ángulo de incidencia más horizontal, por ello la radiación reflejada será mayor que a las horas del mediodía. La irradiancia es la magnitud que describe la radiación solar que llega hasta nosotros: (W/m^2). La irradiación es la cantidad de irradiancia recibida en un lapso de tiempo determinado. Es la potencia*tiempo recibida por unidad de superficie: (Wh/m2).

- Extra atmosférica: fuera de la atmósfera.
- Directa: procede del sol y depende de su posición.
- Difusa: procede de la atmósfera y es la consecuencia de los procesos de reflexión, difracción, dispersión y absorción.
- Reflejada: procede de la reflexión de la radiación incidente sobre el entorno.
- Global = Directa + Difusa + Reflejada: radiación total incidente sobre una superficie.

Toda la radiación solar se convierte en calor al ser absorbida por elementos de cerramiento, tales como vidrios, carpinterías, cerramientos de fachada. Esto incluye la radiación en todos sus espectros: UVA, visible, infrarroja.

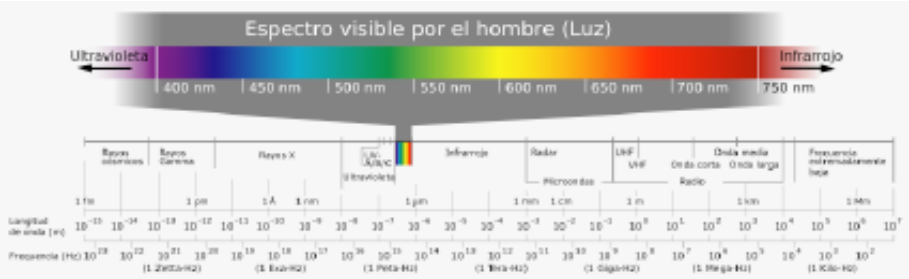


Figura A.1 Espectro electromagnético.

La región visible (400 nm < λ < 700 nm) corresponde a la radiación que puede percibir la sensibilidad del ojo humano e incluye los colores: violeta, azul, verde, amarillo, naranja y rojo. *La radiación de infrarrojos o radiación térmica* es un tipo de radiación electromagnética de una longitud de onda superior a la de la luz visible pero más corta que la de las microondas. Su longitud de onda se encuentra en el rango entre los 700 nanómetros y un milímetro; es la siguiente en longitud al rojo, el color de la longitud de onda más larga de la luz visible, de ahí su nombre de infrarrojo, que significa por encima del rojo. La radiación infrarroja se divide en:

- infrarrojo próximo: cuando la longitud de onda está comprendida entre los 750 nm y los 2.500 nm
- infrarrojo medio: cuando la longitud de onda está comprendida entre los 2.500 nm y 5.000 nm
- infrarrojo lejano: cuando la longitud de onda está comprendida entre los 5.000 nm y los 10.000 nm

El vidrio ordinario es transparente a la radiación infrarroja de longitud de onda más corta, más próxima a la luz visible, pero prácticamente opaco a la radiación infrarroja de longitud de onda más larga. *La radiación ultravioleta* es otro tipo de radiación electromagnética,

en este caso de una longitud de onda inferior a la de la luz visible, y significa más allá del violeta. A efectos de clasificación, se considera la radiación ultravioleta dividida en tres franjas: Ultravioleta-C, altamente nociva, pero que casi nunca alcanza la superficie terrestre al ser rechazada por la atmósfera. Ultravioleta-B, nociva, culpable del cáncer de piel de las personas que se exponen al sol sin protección. Ultravioleta-A, responsable de las pecas y de que nos pongamos morenos. En dosis moderadas es beneficiosa para el organismo.

- *El efecto invernadero*. Los invernaderos se calientan por el efecto llamado precisamente de invernadero. En estos recintos, la energía solar de onda corta entra a través del vidrio, quedando atrapado el calor solar absorbido que se vuelve a radiar en la forma de radiación infrarroja de onda larga, a la que el vidrio es opaco, provocando el calentamiento del ambiente interior. Nos preguntamos, por tanto, para qué necesitamos una trampa, como puede ser un vidrio bajo emisivo, si el vidrio común como se cree ya hace esa función. Para poder explicarlo Supongamos un recinto opaco en todas sus caras menos en una, en la que se encuentra un vidrio plano sencillo. Se puede observar como en el primero, que se encuentra a una temperatura baja, va incidiendo lentamente la radiación (visible, ultravioleta e infrarroja cercana). En el segundo recinto, que se va calentando lentamente por efecto invernadero, la radiación infrarroja cercana se transforma en lejana, al ser remitida por el resto de las superficies. Una vez que la energía entrante es igual que la saliente (recinto tres), el aire caliente acumulado se transmite por convección hacia el vidrio, que lo conduce por conducción al exterior.

7. Bibliografía

AA.VV.: *Guía de ahorro y eficiencia energética en oficinas y despachos,* Madrid: Dirección General de Industria, Energía y Minas. Conserjería de Economía y Consumo. Comunidad de Madrid, 2007.

AA.VV.: *Guía de rehabilitación energética de edificios de viviendas,* Madrid: Dirección General de Industria, Energía y Minas. Conserjería de Economía y Consumo. Comunidad de Madrid, 2007.

AA.VV.: *Bases para el diseño solar pasivo*: *equipo de ahorro de energía en la edificación*, Madrid: Instituto de Eduardo Torroja de la Construcción y el Cemento. Consejo Superior de Investigaciones Científicas (Ed.), 1983.

AMSTOCK, Joseph S.: *Manual del vidrio en la construcción*, México: McGraw-Hill, 1999.

ANDRÉS Y RODRIGUEZ–POMATTA, Juan Antonio de, Santiago AROCA LASTRA y Manual GARCÍA GANDARA: *Termotecnia,* Madrid: Universidad Nacional de Educación a Distancia, 2.ª ed., 1985.

BUTTON, David y Brian PYE: *Glass in building: A guide to modern architectural glass performance*, Oxford: Butterworth Architecture, 1993.

CARMODY, John, Stephen SELKOWITZ y Lisa HESCHONG: *Window systems for high-performance buildings*, Nueva York: W.W. Norton, 2004.

––– *Residential windows: A guide to new technologies and energy performance*, Nueva York: W.W. Norton, 2007.

Código Técnico de la Edificación. HE-1.

COMPAGNO, Andrea: *Intelligente glasfassaden: Material, anwendung, gestaltung = intelligent glass façades: Material, practice, design* (4. rev. und erw. Aufl ed.), Basilea: Birkhauser, 1999.

HOLMAN, Jack P.: *Heat transfer* (9th ed.), Nueva York: McGraw-Hill, 2002.

Manual del vidrio, Madrid: Saint-Gobain Glass, 2001.

MINGUET, Josep María y Alejandro BAHAMÓN: *Casas de cristal=casas de vidrio*, Barcelona: Monsa, 2007.

NEILA GONZÁLEZ, Francisco Javier: *Arquitectura bioclimática en un entorno sostenible,* Madrid: Munilla-lería, 2004.

y César BEDOYA FRUTOS: *Técnicas Arquitectónicas y Constructivas de Acondicionamiento Ambiental*, Madrid: Munilla-lería, 1997.

SCHEERBART, Paul: *La arquitectura de cristal* (pres. Antonio Pizza), Murcia: Colegio Oficial de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Murcia, 1998.

TUCCI, Fabrizio: *Involucro ben temperato. Efficienza energetica ed ecologica in architettura attraverso la pelle degli edifici,* Florencia: Alinea Editrice, 2006.

——— *Tecnologia e natura. Gli insegnamenti del mondo naturale per il progetto dell' architettura bioclimatica*, Florencia: Alinea Editrice, 2000

YÁÑEZ PARAREDA, Guillermo: *Arquitectura solar e iluminación natural: Conceptos, métodos y ejemplos*, Madrid: Munilla-Lería, 2008

http://www.nivelatermografia.net/termografia: figura 5.1

http://evmglass.com/verre-priva-lite: figura 5.5, 5.6

http://www.ltisg.com/ltisr.php: figura 5.7

http://sageglass.com/portfolio/saint-gobains-habitat-lab: figura 5.9

http://upload.wikipedia.org/wikipedia/commons/b/b6/Electromagnetic_spectrum.svg

8. Créditos de las ilustraciones

Código Técnico de Edificación (CTE): figuras 3.4, 3.5. Tablas: 5.4, 5.5

GIMÉNEZ MOLINA, María del Carmen: figuras 1.1, 1.2, 2.1, 3.1, 3.2,

3.3, 3.6, 3.7, 3.8, 3.9, 4.1, 5.2, 5.3, 5.10

Petralcal: figura 4.2

Pleotint: figura 5.4

9. Relación de tablas

Tabla 3.1 Resistencias térmicas superficiales de cerramientos en contacto con el aire exterior en m^2K/W. Procedente CTE-HE-1 (2013) tabla 1, DA DB HE-1 Cálculo de parámetros característicos de la envolvente.

Tabla 3.2 Resistencias térmicas de cámaras de aire en m^2K/W. Procedente de la tabla 2, DA DB HE-1

Tabla 3.3 Absortividad del marco para radiación solar α. Procedente de la tabla 10, DA- DB HE-1

Tabla 3.4 Puente térmico. Imagen obtenida a través del programa Therm LBNL 6.3

Tabla 3.5 Factor de temperatura de la superficie interior mínimo $f_{Rsi,min}$

Tabla 3.6 Diagrama de condensación intersticial. Hoja de cálculo cumplimiento HE-1, opción simplificada. COAM, V.08

Tabla 3.7 Valor base y factor corrector por superficie de la demanda energética de calefacción. (Tabla 2.1. CTE-HE1, 2013)

Tabla 3.8 Valores límite de los parámetros característicos medios. Procedentes de las tablas 2.3 y 2.4 y 2.5. Capítulo 2. HE-1

Tabla 3.9 Valor base y factor corrector por superficie de demanda energética de calefacción. (Tabla 2.1. HE-1)

Tabla 3.10 Valor base y factor corrector por superficie de demanda energética de calefacción. (Tabla 2.1. HE-0)

Tabla 4.1 EJEMPLO 1. Composición del cerramiento, ejemplo 1

Tabla 4.2 Resistencias térmicas superficiales de cerramientos en contacto con el aire exterior en m^2K/W. Procedente de la tabla 1. DA DB HE -1.

Tabla 4.3 Resistencias térmicas de cámaras de aire en m^2K/W. Procedente de la tabla E2. DA DB HE-1

Tabla 4.4 EJEMPLO 2. Composición del cerramiento, ejemplo 2.

Tabla 4.5 Valores límite de los parámetros característicos medios. Procedentes de las tablas 2.3 y 2.4 y 2.5. Capítulo 2. HE-1

(2013)

Tabla 4.6 EJEMPLO 3. Cálculo de cerramiento.

Tabla 4.7 Resistencias térmicas de cámaras de aire en m^2K/W. Procedentes de la tabla 2. DA DB HE-1

Tabla 4.8 Tabla comparativa de soluciones constructivas. Fuente: Grespania.

Tabla 5.1 Tabla de la transmitancia térmica de varias composiciones de dobles acristalamientos. Fuente: IDAE

Tabla 5.2 Tabla de la transmitancia térmica de varias composiciones de vidrios bajo emisivos. Fuente: IDAE

Tabla 5.3 Valores límite de los parámetros característicos medios. Procedentes de las tablas 2.3 y 2.4 y 2.5. Capítulo 2. HE-1

Tabla 5.4 Factor de sombra para obstáculos de fachada: retranqueo. Procedente de la tabla 12. DA DB HE -1

Tabla 5.5 Absortividad del marco para radiación solar α. Procedente de la tabla 10. DA DB HE-1

Tabla 5.6 Factor de sombra para obstáculos de fachada: voladizo. Procedente de la tabla 11. DA DB HE-1

Tabla 5.7 Absortividad del marco para radiación solar α. Procedente de la tabla 10. DA DB HE-1.

Tabla 5.8 Valores límite de los parámetros característicos medios. Procedentes de las tablas 2.3 y 2.4 y 2.5. Capítulo 2. HE-1

Créditos

Eficiencia energética de la envolvente de los edificios: su definición y cálculo
María del Carmen Giménez Molina

Colección arquia/e-temas núm. 1

Edición
Fundación Caja de Arquitectos

Arcs, 1, 08002 Barcelona
www.arquia.es/fundacion

Diseño Gráfico
Folch Studio, S.L.

D.L. B-2010-2014
ISBN 978-84-695-9347-9

© de esta edición,
Fundación Caja de Arquitectos, 2014
© del texto, su autora
© de las fotografías, sus autores
© Portada: Pol Montserrat

La edición de este libro ha sido posible gracias a la financiación obtenida del Fondo de Educación y Promoción de la Caja de Arquitectos.

Cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública o transformación de esta obra, solo puede ser realizada con la autorización de sus titulares, salvo excepción prevista por la Ley. Diríjase a CEDRO (Centro Español de Derechos Reprográficos) si necesita fotocopiar o escanear algún fragmento de esta obra.

En esta publicación se ha utilizado algunas imágenes de las cuales no se ha podido identificar los propietarios de los derechos. En la circunstancia de que alguien identifique alguna de las imágenes como propia, rogamos contacte con la editorial.

PATRONATO FUNDACIÓN
CAJA DE ARQUITECTOS

Presidente
Javier Navarro Martínez

Vicepresidente 1º
Federico Orellana Ortega

Vicepresidente 2º
Alberto Alonso Saezmiera

Secretario
Sol Candela Alcover

Patronos
Carlos Gómez Agustí
Francisco Cabrera Cabrera
Marta Cervelló Casanova
Montserrat Nogués Teixidor
Ángela Barrios Padura
Pep Martínez Llabrés
Emilio Tuñón Álvarez

Covadonga Alonso Landeta
Fernando Díaz-Pinés Mateo
Juli Pérez Ballester
Mariano Muixi Vallés

Director
Gerardo García-Ventosa López