

1

HACIA LOS EDIFICIOS SIN HIPOTECA ENERGÉTICA: *PASSIVHAUS* – LA CASA PASIVA



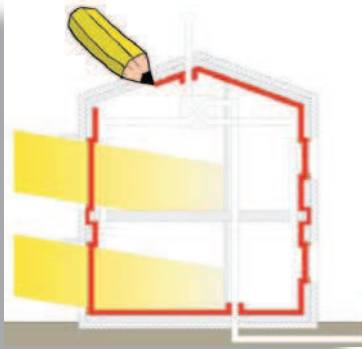
El coste de un edificio va mucho más allá de su construcción: son también su demanda de energía y el mantenimiento durante su vida útil lo que sitúan en su justa medida este parámetro.

Esta idea que parece tan simple no está arraigada suficientemente en nuestro país y es la clave para entender la eficiencia energética como la senda por la que habrá de discurrir la construcción de los edificios en los próximos años.

Todo edificio que no parta de una buena envolvente, bien aislada y con un control riguroso de las infiltraciones de aire indeseadas y de los puentes térmicos, nacerá obsoleto. Es en este punto donde la casa pasiva contribuye al equilibrio entre la economía y la construcción: un buen planteamiento en su diseño, con un óptimo aprovechamiento de la energía del sol, inagotable a escala humana.

La casa pasiva basa su esfuerzo en reducir al máximo la demanda de energía de los edificios y su principal valor es el RIGOR del diseño y cálculo de los proyectos y de la ejecución de las obras de forma tal que se puede garantizar que los valores teóricos calculados se ajustan a los valores reales que se obtienen una vez construido el edificio.

Nos encontramos en un momento histórico en el cual existe la percepción social generalizada de que algo debe cambiar. La profunda crisis económica mundial hace que nos cuestionemos la validez de muchos de los procedimientos empleados hasta la fecha, aunque hayan funcionado razonablemente bien durante décadas. Previamente, crisis ambientales no resueltas y el fantasma del agotamiento de recursos energéticos fósiles, entre otros, nos invitan a tomar posiciones y aplicar principios de precaución, que aminoren nuestra dependencia energética y nuestro impacto natural. Nos encontramos ante un



Guía del estándar Passivhaus

giro obligado hacia la sostenibilidad, que se presenta ya, sin brumas, como la única alternativa posible.

En este contexto se publica la Directiva Europea 2010/31/UE, según la cual todos los estados miembro deberán tomar medidas para que a partir de 2020 todos los edificios de nueva planta sean de consumo de energía casi nulo (2018 en el caso de edificios públicos).

Esta directiva aporta una definición ambigua de lo que es un «edificio de consumo de energía casi nulo», de modo que en el transcurso del intervalo de tiempo hasta 2020 las distintas regiones y/o países personalicen su propia definición de los «nearly zero-energy buildings» (NZEB), en función de equilibrios particulares entre costes energéticos y económicos, y lo adecuen a sus normativas en los escalones que consideren precisos.

La definición de un estándar para los edificios NZEB ofrece un gran número de ventajas para el sector de la construcción en su totalidad, que hasta ahora han sido aprovechadas por mercados centroeuropeos mediante la concreción de la casa pasiva. De hecho ha supuesto un importante motivo para la explosión de la construcción de hogares de baja energía en Alemania y Austria, a los que ya se están sumando el resto de países europeos y de todo el mundo.

Es en el contexto energético del sector de la edificación donde hace su entrada la casa pasiva, aportando una perspectiva a la que no estamos acostumbrados en nuestro país. *Passivhaus* no propone un acercamiento a la autosuficiencia energética mediante la aplicación de distinta suerte de energías renovables a nuestras ineficientes construcciones actuales, sino simplemente, construir para «consumir la mínima energía necesaria», aportando para ello un procedimiento, una secuencia de pasos tanto en diseño como en ejecución, que permitan conseguir edificios con demandas muy bajas de energía para confort térmico.

Es importante entender que la casa pasiva representa el máximo exponente de entre los métodos constructivos de baja demanda energética del edificio en uso, durante su vida útil. Pero este aspecto nada desdeñable es tan solo uno más de los que se deben contemplar si queremos apostar por una sostenibilidad real. Deberán sumarse también otros criterios, tales como los consumos de recursos y energía durante el proceso de transformación, transporte y colocación de los

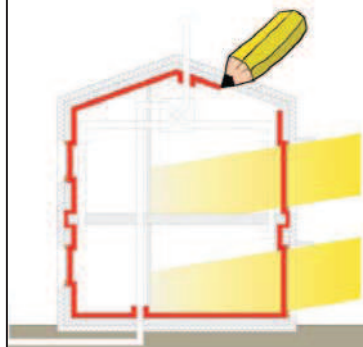
materiales de construcción, así como su posibilidad de recuperación, condicionantes de proximidad a zonas de abastecimiento, aspectos sociales y políticos, etc. Flaco favor ambiental habremos obtenido si nuestra casa alternativa, y energéticamente autosuficiente, se ha construido consumiendo una cantidad excesiva de recursos materiales y energéticos, tal vez irre recuperables.

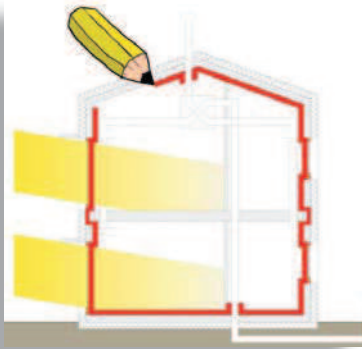
Es por ello, que al igual que en otros países, la Plataforma de Edificación Passivhaus (PEP), además de realizar una intensa labor de difusión por toda la geografía española con el apoyo de sus socios y la colaboración de agencias autonómicas de la energía, busca sinergias con otros sellos de edificación sostenible. No es momento de aislar disciplinas, por buenas que sean; es tiempo de unir lo mejor de todas ellas.

PEP es una asociación sin ánimo de lucro que se ocupa de la difusión de este procedimiento constructivo en nuestro país, así como su adecuación a nuestra variabilidad climática. Tanto sus singularidades energéticas como la proyección de futuro en el deprimido sector de la construcción español, sitúan a este estándar como una alternativa inmejorable y adaptable, capaz de aportar una definición personalizada a los NZEB, así como un importante valor añadido de independencia energética que ofrecer a promotores y usuarios. En este marco de implementación y con el apoyo del Passive House Institute de Darmstadt (Alemania) PEP se consolida como entidad aglutinadora de todas las actividades e informaciones relativas a la casa pasiva en nuestro país.

La edición de esta primera Guía de aproximación a la casa pasiva en España es una iniciativa de la Dirección General de Industria, Energía y Minas de la Comunidad de Madrid, a través de su Fundación de la Energía – FENERCOM. La Dirección General, dentro de su política de difusión de contenidos sobre tecnologías para la reducción de nuestra dependencia energética, es muy consciente de que el mayor de los obstáculos para su aplicación no es otro que la ausencia de cultura energética en nuestro acervo, debido a la disponibilidad de energía fósil asequible durante las últimas generaciones.

La mayoría de las personas son capaces de hacer mil números antes de adquirir su vivienda, que en muchas ocasiones supone la inversión económica de mayor cuantía de toda la vida, llegando así a conclusiones sobre los límites hipotecarios a los que podrán enfrentarse.





Guía del estándar Passivhaus

Sin embargo, aún son pocos los que se preguntan por el consumo de energía, sea del origen que sea (fósil, renovable, etc.), sin darse cuenta del sobre coste mensual o anual que puede llegar a suponer, desde el mismo momento de la compra. Habida cuenta de la longevidad de un edificio y de la escalada del coste de la energía, la *hipoteca energética* comenzará a ser en los próximos años un factor determinante en la compra de cualquier inmueble, que deberá sumarse a la tradicional hipoteca inmobiliaria.

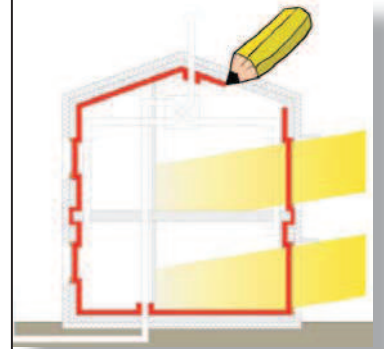
Por otro lado y en muy pocos años, la aparición de normativas más exigentes en el ámbito del ahorro energético, presionarán a la baja el precio de viviendas poco eficientes, a favor de sus homólogas inscritas en edificios de alta eficiencia, en las que priman prestaciones superiores de confort pero con un gasto nimio. *«Construir hoy sin criterios de ahorro de energía es una mala inversión».*

Así pues, se abre un tiempo para la recuperación de hábitos de frugalidad energética, si bien los avances tecnológicos abren a su vez una puerta de conocimiento para cubrir esos objetivos de ahorro o bajo consumo. Es por ello, que la difusión de conocimiento útil se vuelve imperativa, poniendo en boca de todos conceptos como el «negativo» o la «hipoteca energética». En este contexto, las distintas Agencias de la Energía así como el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE) constituyen mecanismos imprescindibles de concienciación a través de la comprensión, a todos los niveles: usuarios, profesionales, administraciones, etc.

Nadie tiene la prensa de mañana; tal vez no exista una ruta bien definida, pero en edificación sostenible ya intuimos cual es el camino.

2

LOS EDIFICIOS PASIVOS

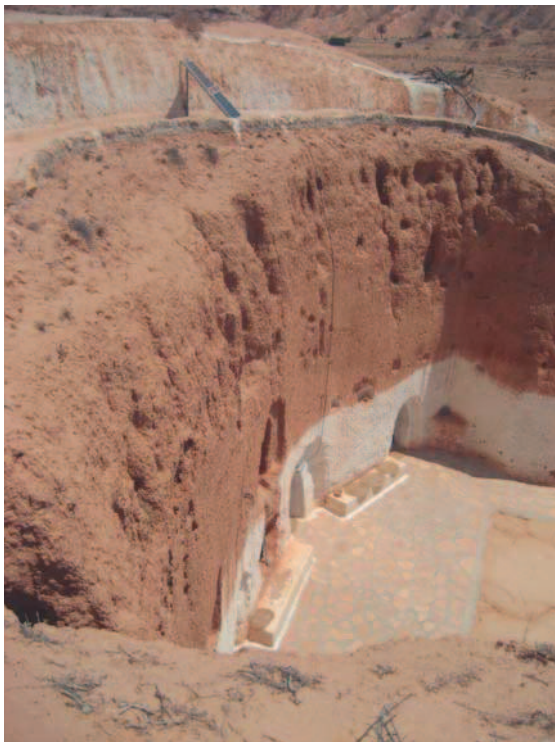


2.1. UNA IDEA SIMPLE

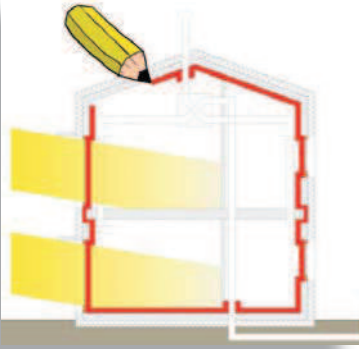
El hombre primitivo pronto descubrió que las pieles de los animales podían contribuir a su protección frente al frío, que ponerse al sol suponía un aumento de su bienestar y que las cuevas, con su temperatura constante, resultaban un buen refugio donde guarecerse.

Principios tan simples como estos son los que están detrás de las casas pasivas:

Una buena envolvente protectora y un buen aprovechamiento del calor del sol almacenado en los edificios.



Fotografía 1. Casas trogloditas en Matmata, Túnez.
Fuente: Javier Crespo.



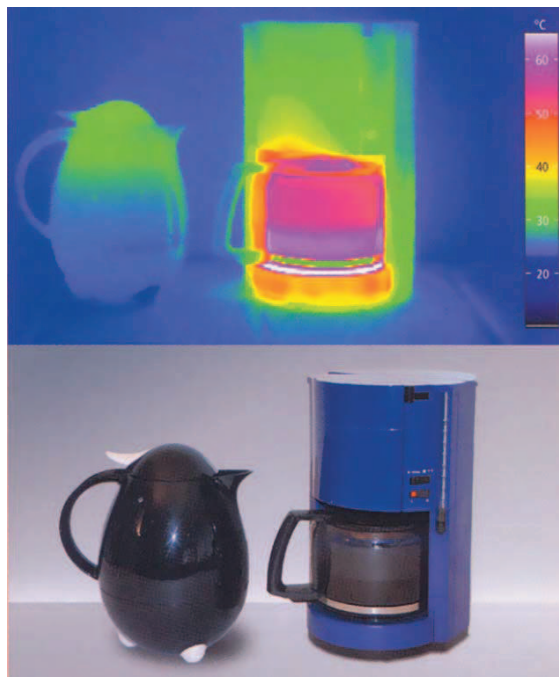
2.2. LOS EDIFICIOS PASIVOS

2.2.1. Bases

Los edificios pasivos combinan un elevado confort interior con un consumo de energía muy bajo. Se trata de edificios con un alto grado de aislamiento, un control riguroso de los puentes térmicos y de las infiltraciones de aire indeseadas, unas carpinterías de gran calidad y un aprovechamiento óptimo del soleamiento de forma tal que mediante la ventilación mecánica a través de un recuperador de calor se consigue el aporte necesario para su climatización, sin necesidad de recurrir a ningún otro sistema.

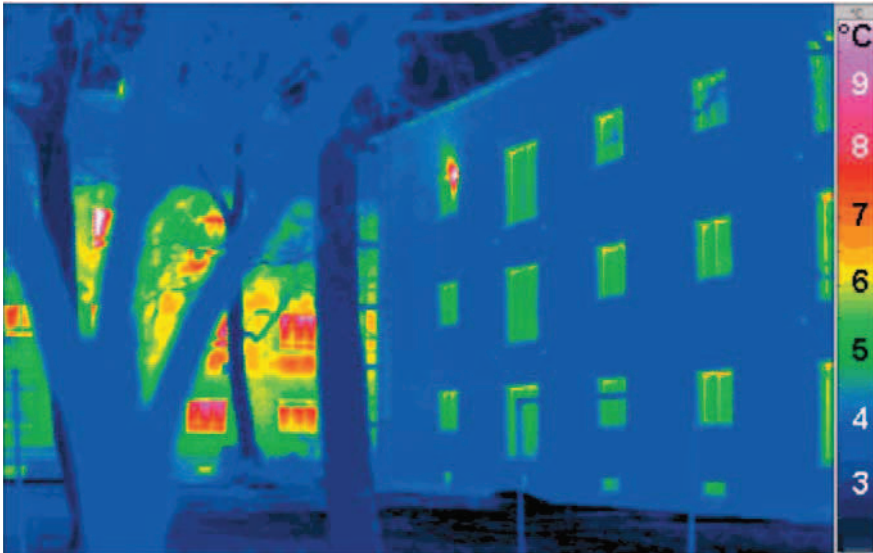
Podemos decir que los edificios pasivos llevan la eficiencia energética al EXTREMO: Cuidando la orientación, la envolvente del edificio y aprovechando al máximo la energía del sol, se consigue que la demanda energética para su climatización sea realmente baja y con una calidad de aire interior muy elevada.

Para ello son necesarios un buen diseño y planificación, con un cuidado especial en los detalles constructivos y en su ejecución. La cantidad de energía necesaria para su climatización es tan pequeña que una habitación de 20 m² puede calentarse tan solo con el calor corporal de cuatro personas, incluso en pleno invierno.



Fotografía 2. El termo y la cafetera.
Fuente: PHI (Passive House Institute).

Su principio de funcionamiento se acerca mucho a lo que se representa en estas imágenes: la cafetera conserva el calor mediante resistencias eléctricas: PRINCIPIO ACTIVO, mientras que el termo conserva el calor gracias a sus propiedades de aislamiento térmico: PRINCIPIO PASIVO.



Fotografía 3. Termografía de viviendas.
Fuente: Google.

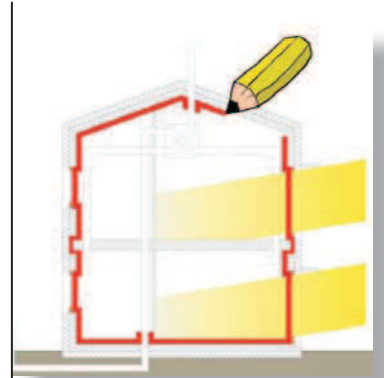
La termografía revela este mismo comportamiento en un edificio convencional y en otro construido en estándar pasivo. Los tonos más cálidos indican fugas de calor por las fachadas.

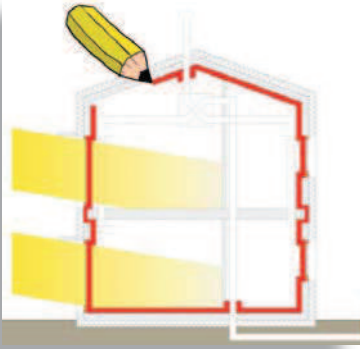
El concepto *Passivhaus* es aplicable a cualquier clima: el método y la sistemática de cálculo son siempre iguales, con pequeñas variaciones de los requisitos de calidad de los distintos elementos constructivos de los edificios en función de las condiciones climáticas de la zona donde se actúe.

En climas cálidos es importante tener en consideración medidas para la refrigeración pasiva como las protecciones solares de las ventanas o el atemperamiento del aire de renovación exterior a través de tubos enterrados bajo el edificio durante el verano.

2.2.2. Orígenes del estándar

Las CASAS PASIVAS se empezaron a estudiar en Alemania en los años ochenta y hay ya muchos ejemplos construidos en Europa y en todo el mundo.





Guía del estándar Passivhaus

El estándar *Passivhaus* se formula oficialmente en 1988 por los profesores Bo Adamson, de la Universidad sueca de Lund, y Wolfgang Feist, del Instituto alemán de Edificación y Medio Ambiente. En 1990 se realiza el primer proyecto en estándar *Passivhaus*, 4 casas pareadas en Darmstadt, Alemania.



Fotografía 4. Primeras viviendas pasivas, Darmstadt, Alemania.
Fuente: PHI.

El *Passive House Institute* (PHI) fue fundado en el año 1996 por el Dr. Feist, 5 años después de la construcción de estas primeras casas. Su mayor objetivo es la investigación económicamente viable de éste estándar. Hoy en día es la institución que lidera la investigación, aplicación, formación y certificación de los edificios pasivos y promueve su implantación en todo el mundo.

2.2.3. Los principios básicos

Los 7 principios básicos de las casas pasivas son:

- Superaislamiento.

Una buena envolvente térmica parte de la base de un buen aislamiento, con espesores que doblan e incluso triplican los utilizados tradicionalmente en nuestro país.

- Eliminación de los puentes térmicos.

Los puentes térmicos son aquellos puntos en los que la envolvente de un edificio se debilita debido a un cambio de su composición o al encuentro de distintos planos o elementos constructivos. Un correcto planteamiento en el diseño de un edificio permite eliminar los puentes térmicos y minimizar así las pérdidas de energía.



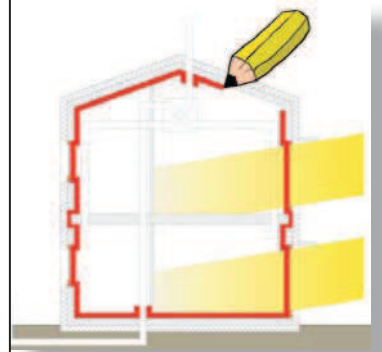
Fotografía 5. Control de infiltraciones en las ventanas.
Fuente: Google.

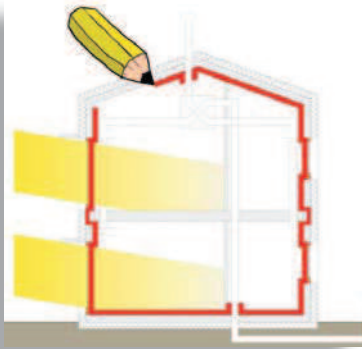
- Control de las infiltraciones.

Una planificada ejecución permite un control de las infiltraciones de aire indeseadas de forma tal que el edificio pueda ser calefactado mediante la ventilación mecánica con recuperación de calor, sin recurrir a ningún otro sistema.



Fotografía 6. Recuperador de calor.
Fuente: Wolfgang Berger.





Guía del estándar Passivhaus

- Ventilación mecánica con recuperación de calor.

El recuperador es la pieza clave en el funcionamiento de un edificio pasivo: recoge el calor que transporta el aire interior y lo trasfiere al aire fresco que se recoge del exterior, atemperado, previamente filtrado y en perfectas condiciones higiénicas.



Fotografía 7. Carpinterías de calidad.
Fuente: PHI.

- Ventanas y puertas de altas prestaciones.

Las carpinterías son las zonas más débiles de la envolvente por lo que sus secciones están muy estudiadas, con dobles juntas de estanqueidad y vidrios bajo emisivos dobles o triples que a veces incorporan gases nobles en las cámaras con el fin de mejorar los coeficientes de transmisión térmica.

- Optimización de las ganancias solares y del calor interior.

El aprovechamiento de las ganancias de calor internas generadas por las personas, los electrodomésticos y la iluminación forman parte del balance energético del edificio. De igual modo la protección en verano frente al exceso de radiación solar es imprescindible.

- Modelización energética de ganancias y pérdidas.

La modelización energética de ganancias y pérdidas se realiza mediante un software específico: el PHPP (PassivHaus Planning Package). Se trata de un programa bastante sencillo e intuitivo basado en hojas EXCEL que se emplea para ajustar los cálculos térmicos a las características del estándar *Passivhaus*.

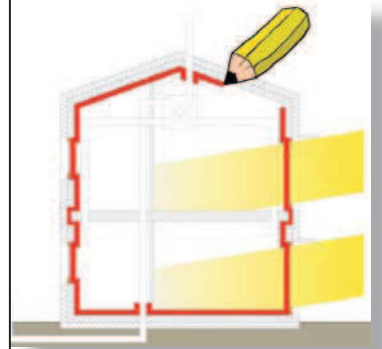
2.3. OBJETIVOS DEL ESTÁNDAR

2.3.1. Bases

El objetivo del estándar es limitar la demanda de energía a 15 kWh/m²a para calefacción y a 15 kWh/m²a para refrigeración.

La estanqueidad al aire se debe comprobar mediante un test de presurización que confirme un valor no superior a 0,6 renovaciones por hora con una presión/depresión de 50 pascales.

La energía primaria total demandada por el edificio (toda, incluyendo la climatización, la iluminación, los electrodomésticos, ordenadores, etc.) no debe superar los 120 kWh/m²a.



Fotografía 8. Oficinas en St. Gerold (Austria).
Fuente: iPHA (International PH association).



Fotografía 9. Vivienda en Langenhagen (Holanda).
Fuente: iPHA.

2.3.2. El confort

Una buena piel del edificio, bien aislada frente al frío y frente al calor, asegura un elevado confort interior.

Son edificios confortablemente cálidos en invierno y agradablemente frescos en verano que pueden ahorrar hasta un 90% de su consumo energético respecto a los edificios convencionales que se construyen hoy en día y que, siempre y cuando se atiendan los principios de buena orientación y racionalidad en sus planteamientos, admiten CUALQUIER TIPO DE ARQUITECTURA.



Fotografía 10. Polideportivo en Bremen (Alemania).
Fuente: SchröderArchitekten BDA.



Fotografía 11. Estación de Bomberos en Heidelberg (Alemania).
Fuente: iPHA.

2.3.3. La sostenibilidad

La elevada eficiencia energética de estos edificios reduce radicalmente las emisiones de CO₂ a la atmósfera, contribuyendo así a la protección del clima y contribuyendo de una forma más racional a la preservación de las fuentes de energía no renovables, como los derivados del petróleo. La escasa energía necesaria hace más sencilla la utilización de energías renovables como fuente de suministro.



Fotografía 12. Vivienda en Vorarlberg (Austria).
Fuente: iPHA.

2.3.4. La eficiencia

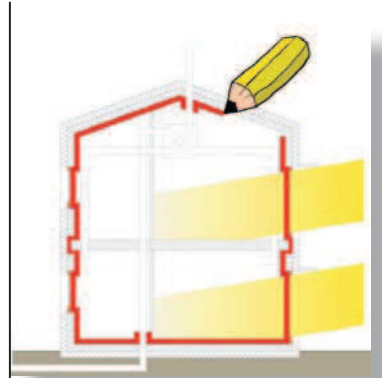
Se requiere muy poca energía para aportar una alta calidad de aire (confort interior) con un esfuerzo técnico muy bajo.

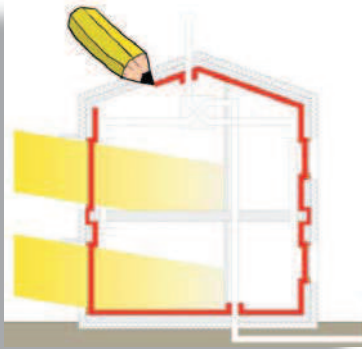
2.3.5. La innovación

El concepto *Passivhaus* es un estándar constructivo moderno que sirve de base para los edificios del futuro y que abre un gran campo de aplicaciones para la arquitectura y la ingeniería, aportando valor añadido al mundo de la construcción.

2.3.6. Probados y contrastados

Cientos de edificios construidos según el estándar *Passivhaus* han sido científicamente monitorizados y rigurosamente comprobado su fun-





Guía del estándar Passivhaus

cionamiento: las opiniones favorables de miles de usuarios avalan la calidad y el confort que se consiguen.



Fotografía 13. Conjunto de 10 viviendas en Frankfort (Alemania).
Fuente: ROOK architekten.

2.3.7. Sencillos de usar

No requieren nada extraordinario de sus ocupantes, al contrario: no es necesario estar pendiente de ventilar las estancias y no se producen corrientes de aire y todo ello con una tecnología sencilla.

Aunque inicialmente se aplicó a viviendas unifamiliares cada vez son más las tipologías a las que se adapta el estándar pasivo: escuelas, guarderías, polideportivos, centros cívicos, iglesias, estaciones de bomberos, etc. y por supuesto bloques de vivienda colectiva donde la relación superficie / volumen es mucho más favorable que en las viviendas unifamiliares.

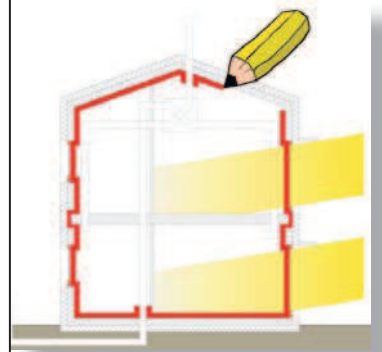
2.4. ACTUALIDAD DE LOS EDIFICIOS PASIVOS

Más de 10 ciudades, entre ellas las ciudades de Frankfort y Hannover, en Alemania, obligan a que todos sus edificios públicos nuevos o a renovar sean realizados en el estándar. La región de Vorarlberg en Austria tiene establecido que todos los nuevos bloques de viviendas estén realizados en estándar *Passivhaus*.

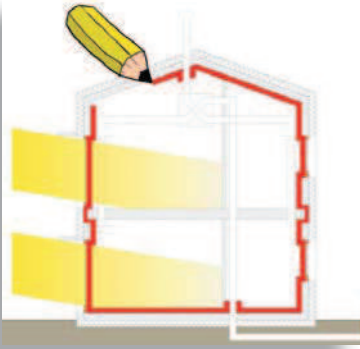
Se estima que habrá unos 35.000 edificios realizados para 2012 en toda Europa.



Fotografía 14. Casa Pasiva



Fotografía 15. Casa Pasiva



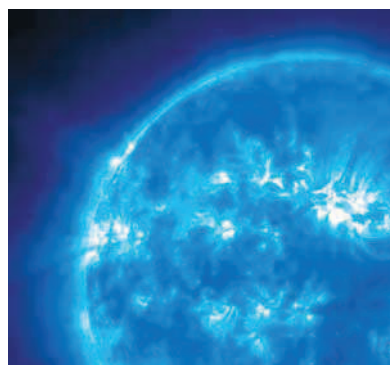
Guía del estándar Passivhaus



Fotografía 16. Casa Pasiva

El protocolo de Kyoto condujo a nuevas medidas de ahorro energético en muy diversos campos, entre ellos el de la construcción y en el que se implantó el sistema de CALIFICACIÓN ENERGÉTICA. Según los objetivos políticos UE 20.20.20 (20% ahorro + 20% eficiencia + 20% energías renovables) la Comisión Europea ha actualizado la Directiva relativa a la eficiencia energética de los Edificios por la cual, a partir del año 2020, todos los países de la CE deben desarrollar estándares de muy bajo consumo energético, en la línea de lo que plantea el estándar *Passivhaus*: edificios de consumo de energía casi nulo.

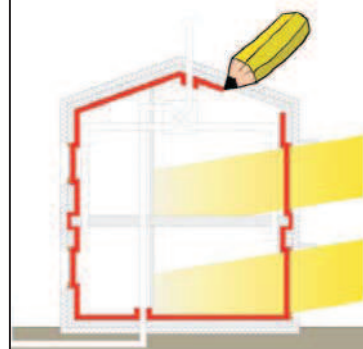
Vivimos en un mundo limitado que vamos consumiendo poco a poco como gusanos una manzana y que necesitamos atender y cuidar para que futuras generaciones puedan seguir disfrutando de él. El buen uso de la tecnología nos puede ayudar a que más gente, durante más tiempo disfrute del PLANETA en el que vivimos, aprovechando la energía del sol, la gran caldera de las casas pasivas.



Fotografía 17. El Sol: la gran caldera de las casas pasivas.
Fuente: Google.

3

LOS PRIMEROS HITOS A TENER EN CUENTA



3.1. EL RESULTADO DE LAS INVESTIGACIONES Y DE LA EXPERIMENTACIÓN

3.1.1. La definición del estándar *PassivHaus* mediante unos valores característicos

El estándar de la Casa Pasiva, o más bien el certificado *PassivHaus* de una edificación, supone que la demanda de energía, para calentar o para refrigerar, es tan baja que hace innecesario un sistema «tradicional» de aporte energético. La energía necesaria puede aportarse a través del aire de renovación higiénica, ya que solo se necesita una fuente adicional de calor en momentos puntuales mediante, por ejemplo, una pequeña resistencia eléctrica.

Un edificio *PassivHaus* (PH) es una edificación sin necesidad de calefacción activa.

El certificado asegura por tanto la innecesariedad de un sistema añadido de calefactado o refrigerado del edificio. Para poder asegurar este extremo se apoya en una serie de hitos que se deben cumplir.

Estos hitos fueron desarrollados a nivel teórico en los años 90 y posteriormente se experimentaron en una edificación. A partir de ello se desarrolló un software que fue afinándose a partir de los datos experimentales, en localizaciones de todo el mundo. Como resultado se ha obtenido un sencillo software (PHPP) que compendia los apartados a satisfacer.

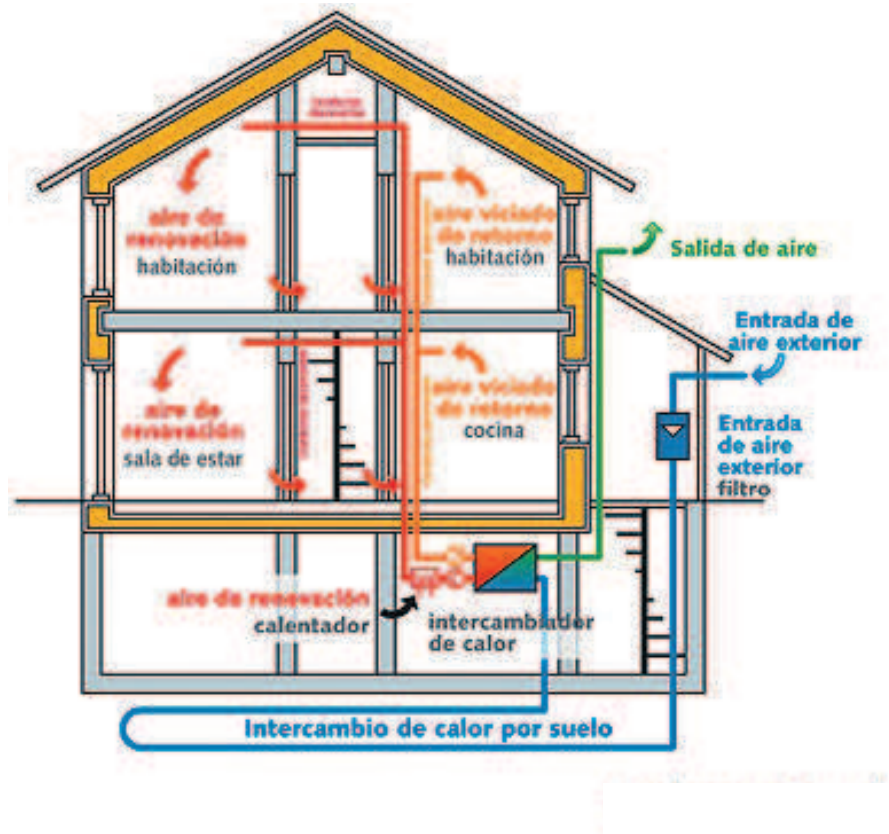
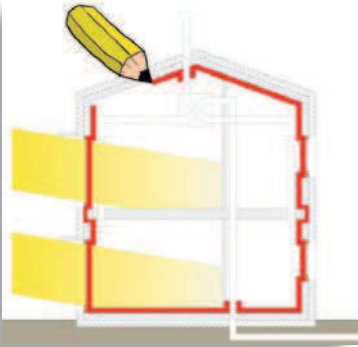


Figura 1. Croquis esquemático de la eficiencia en la ventilación Passivhaus.

Estos hitos se pueden resumir en los siguientes:

- Demanda máxima para calefacción de 15 kWh/m²a.
- Demanda máxima para refrigeración de 15 kWh/m²a.
- Para edificios con calefacción y refrigeración por aire, se incorpora como nueva alternativa conseguir una carga de frío y calor menor de 10 W/m².
- Valor del ensayo de estanqueidad al aire $\leq 0,6/h n_{50}$.

(Renovaciones de aire por hora de acuerdo a la EN 13829 para una diferencia de presión de 50 pascales).

- Consumo de energía primaria no superior a 120 kWh/m²a.

(Energía primaria de todos los sistemas de calefacción, refrigeración, agua caliente sanitaria, electricidad auxiliar, electricidad general, electrodomésticos, etc.).

- Temperaturas superficiales interiores de la envolvente térmica en invierno $> 17\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Cumpliendo estos valores y mediante la herramienta PHPP se garantiza el funcionamiento, en adecuadas condiciones de confort (EN 15251), de la edificación **todo el año**, en **todo lugar** y para **todo usuario**.

Un edificio PH no se consigue mediante una acumulación de varios elementos pasivos (no es posible lograr el estándar por fases) ya que elementos concretos pueden tener gran influencia positiva y/o negativa (p.ej.: grandes acristalamientos) por lo tanto es importante calcular el funcionamiento durante el ciclo de un año completo.

3.1.2. ¿Puede mi edificio ser *PassivHaus*?

Un edificio certificado PH se encuentra en interrelación permanente con su entorno, mediante el intercambio energético a través de la envolvente. Esta envolvente funciona de manera diferente si se encuentra en contacto con el terreno, si se encuentra en diferentes orientaciones, si es una zona sombreada permanentemente o estacionalmente (vegetación caduca), etc.

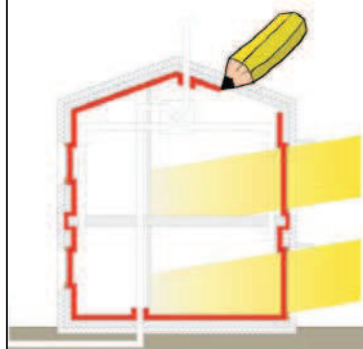
Por lo tanto a la hora de enfrentarse a un «posible» edificio PH es imprescindible estudiar y conocer las condiciones, no solo del propio edificio, sino también de su entorno.

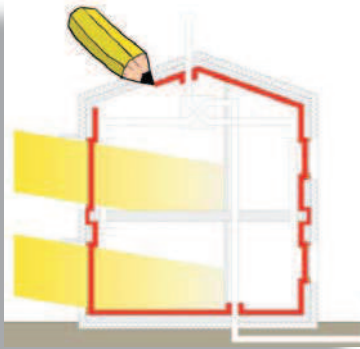
Una primera aproximación al diseño del edificio puede realizarse mediante la herramienta PHVP-2002 (gratuita en alemán:

http://www.passiv.de/04_pub/Literatur/PHVP2002/PHVP_F.htm).

Esta herramienta permite conocer un cálculo aproximado del consumo energético previsto para un edificio en fases tempranas de su diseño. Es una versión simplificada del PHPP, que posteriormente complementa el cálculo mediante la introducción de muchos otros valores referidos al clima local, las ganancias solares, el sombreadamiento, etc., por lo que es imprescindible su utilización para el desarrollo de las fases posteriores del diseño.

A partir del resultado del consumo y analizando la localización del futuro edificio respecto del sol, y los posibles sombreadamientos, nos podemos





Guía del estándar Passivhaus

orientar sobre la posibilidad de conseguir su calentamiento, o impedir su sobrecalentamiento en función de las condiciones específicas del clima local. Pudiera resultar que p.ej.: un edificio que tenga un acceso muy limitado al sol, aun cumpliendo requerimientos muy rigurosos de aislamiento, control de puentes térmicos, etc., no fuera capaz de obtener la energía solar pasiva necesaria. Esto nos lo facilitará más adelante y sin lugar a dudas el PHPP.

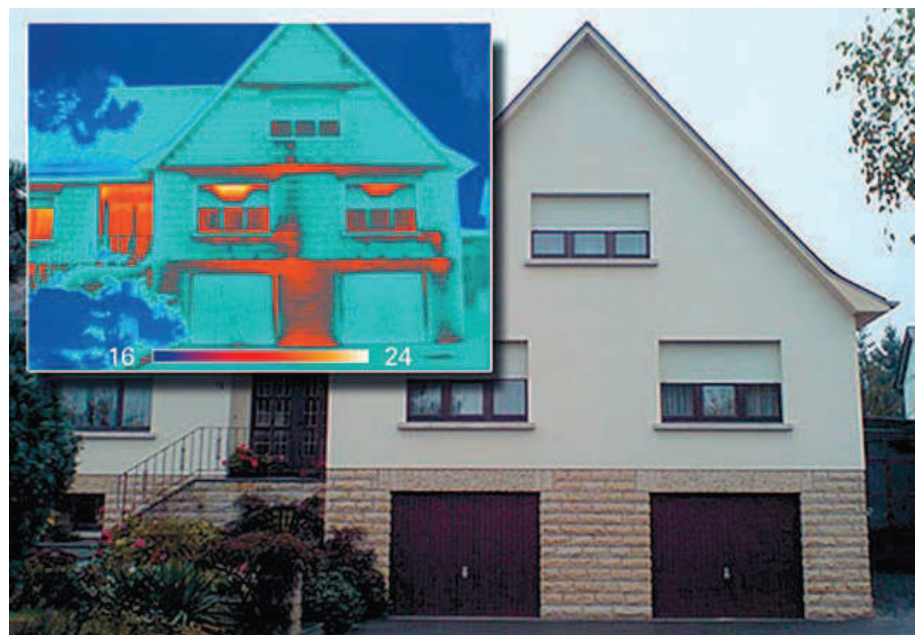
3.2. EXPLICACIÓN DE LOS VALORES CARACTERÍSTICOS DEL ESTÁNDAR PASSIVHAUS

3.2.1. Valor característico de demanda de calefacción 15 kWh/m²a

Este puede considerarse el valor más importante. Es el resultado del balance entre pérdidas y ganancias de calor.

- **Pérdidas** por transmisión, a través de la envolvente térmica (incluidos puentes térmicos) y por infiltración, a través de rendijas, por ventilación, etc.

Tan importantes como las pérdidas energéticas a través de los paramentos verticales, techos y suelos son las pérdidas debidas a infiltraciones indeseadas, pudiendo llegar a suponer un 40% del total.



Fotografía 1. Termografía e imagen real de vivienda unifamiliar.

- **Ganancias** a través de fuentes de calor internas y ganancias solares.

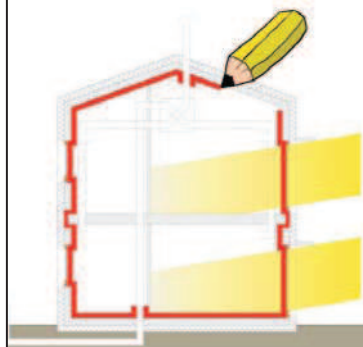
Para tener en cuenta correctamente las ganancias internas ($2,1 \text{ W/m}^2$ en el caso de viviendas), debidas a ocupantes, uso, electrodomésticos, etc., es importante, bien asumir la relación ocupante/superficie ($35 \text{ m}^2/\text{por persona}$) que por defecto toma en cuenta el PHPP o bien modificarla (≥ 20 y ≤ 50) en base a las especificidades de nuestro edificio.

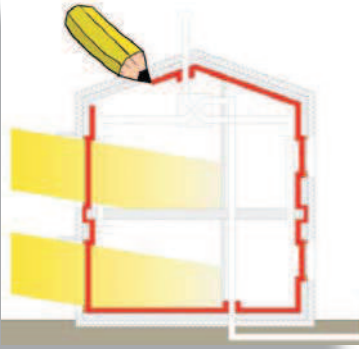
Asimismo las ganancias solares son un aporte energético, en muchos casos imprescindible, si bien debe ser tenido en cuenta también a la hora de evitar los sobrecalentamientos. El PHPP incorpora la valoración de los datos locales específicos debidos a la orientación, la ubicación, el sombreadamiento (tanto propio como recibido), variabilidad estacional, etc.

Como resultado del cálculo, mediante la relación superficie/ocupante y debido a la capacidad térmica del aire, un edificio que cumple la demanda de $15 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ puede ser calefactado únicamente mediante un aporte mínimo en el aire de admisión del sistema de ventilación.

3.2.2. Valor característico de demanda de refrigeración $15 \text{ kWh/m}^2\text{a}$

Aun cuando en un principio el estándar PH fue concebido para climas fríos centroeuropeos, la labor continua de investigación y experimentación liderada por el PassivHaus Institut (PHI) y el deseo de exportar y globalizar los conocimientos adquiridos han dado como resultado la adopción del estándar también en climas cálidos del sur de Europa.





Fotografía 2. *PassivHaus*

En la adaptación a climas más cálidos aparece con singular importancia el apartado de la refrigeración, sin olvidar los sombreamientos, superando en casos a la calefacción y exigiendo un planeamiento riguroso y diferenciado para evitar sobrecalentamientos.

El valor característico estipulado para refrigeración es de 15 kWh/m²a, parejo al de calefacción en otros climas.

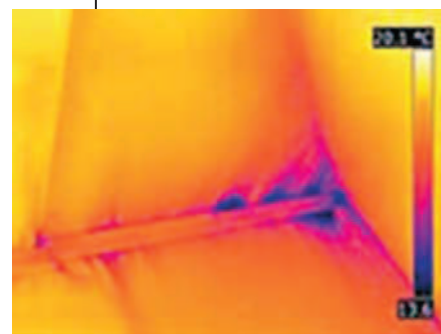
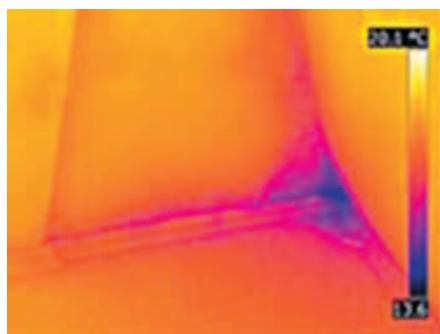
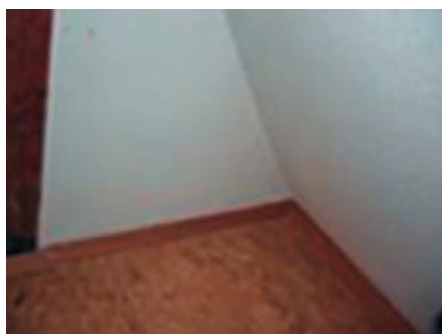
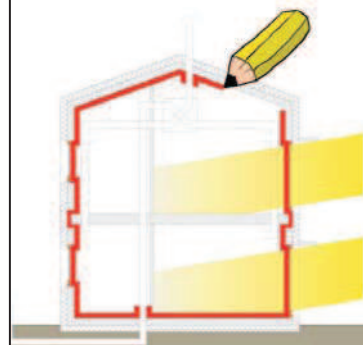
3.2.3. Otras alternativas: Valor característico de carga para frío y calor menor de 10 W/m²

El continuo desarrollo del PHPP ha permitido introducir, a modo de opción, este nuevo valor, en consideración a las especificidades propias de los sistemas de calefactado o refrigerado mediante aire caliente.

Obtener este valor es equivalente a los anteriormente citados de 15 kWh/m²a, consiguiéndose por tanto, en la edificación, las mismas condiciones de confort que garantiza la otra opción.

3.2.4. Valor característico de estanqueidad – resultado del ensayo de presión «Blowerdoor», $n_{50} \leq 0,6$ ren/h.

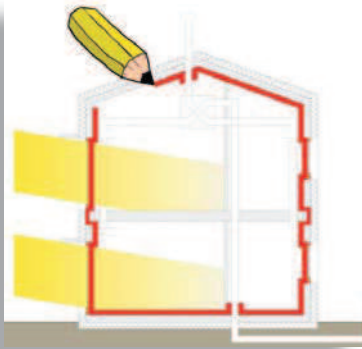
El control de las infiltraciones indeseadas se muestra como uno de los apartados transcendentales en el proyecto de una edificación certificada PH. Además en este caso se añade también, como sumamente importante, el control en obra de su ejecución, responsabilidad directa de la dirección facultativa y el certificado de su medida mediante un ensayo de estanqueidad al aire (test Blowerdoor). Este ensayo debe que ser ejecutado por un profesional independiente de acuerdo a la UNE EN 13829, y con resultado del mismo inferior a 0,6 renovaciones por hora a 50 pascales de presión, tanto en sobrepresión como en succión.



Fotografía 3. Reflejo gráfico de las pérdidas por infiltraciones durante un test.

A modo de referencia de este valor, un estudio presentado por Wolfgang Berger y Amarante Barambio, en la 2ª Conferencia Española PassivHaus, realizado sobre un edificio de vivienda colectiva construido cumpliendo el CTE arrojaba un valor de 3 ren/h y una edificación previa al CTE alcanzaría fácilmente las 10 ren/h. Mediante una sencilla regla de tres se puede estimar, evidentemente no es un cálculo exacto, que si para calefactar una edificación con unas infiltraciones de 0,6 ren/h son suficientes 10 W/m² para unas infiltraciones de 3 ren/h, 5 veces superiores. El crecimiento de las demandas difícilmente ofrecerá un valor inferior a 50 W/m², que mediante el recuperador se transforman en 30 W/m², valor en todo caso inferior a los habituales utilizados en el cálculo para demandas de calefacción en el norte de España, donde suele tomarse el valor de 75 a 100 W/m².

Estos valores dan una idea de la importancia que adquiere el adecuado control de las infiltraciones de aire, máxime en un edificio eficiente con un importante nivel de aislamiento térmico.



3.2.5. Valor específico de energía primaria no superior a 120 kWh/m²a

Las ganancias internas además de generarse por el uso, por ejemplo de los habitantes de la vivienda, pueden ser también debidas al uso de los aparatos eléctricos. Esto es debido a que gran parte de los procesos realizados por estos aparatos suponen la emisión de energía al medio, y esta energía la mayoría de las veces se emite en forma de calor.

Esto podría suponer que una edificación PH se calentara mediante estos aportes energéticos que podríamos denominar «parásitos». Evidentemente el uso «normal» y necesario de los aparatos eléctricos es lógico en, p.ej.: una vivienda, por lo que el PHPP lo tiene en cuenta, aun cuando los aparatos eléctricos de última generación son altamente eficientes y por ello la energía que emiten es muy limitada.

Sin embargo sería una flagrante contradicción diseñar una edificación altamente eficiente y confortable, que además no necesite calefacción y, por otra parte, consumir una gran cantidad de energía «parásita» para calefactarla, siendo además conocido que la producción de calor mediante electricidad es un proceso altamente ineficiente.

Por ello el PHI, en base a datos experimentales y de uso que podríamos considerar «normales» ha establecido el límite de 120 kWh/m²a, tanto para electricidad como para electricidad auxiliar. Sin embargo este valor tal y como se ha comentado en la actualidad se muestra «poco exigente» por lo que se encuentra en marcha el proceso para actualizarlo y definir uno más restrictivo en consonancia con los criterios de utilizar «la mejor tecnología disponible».

3.2.6. Valor característico de frecuencia de sobrecalentamiento

El sobrecalentamiento, tal y como se ha comentado, no suponía un problema «importante» ya que en los climas centroeuropeos, cuna del estándar PH, éste se producía en contadas ocasiones, resultando incluso «agradable» de sufrir y evitarlo al 100% supondría una importante descompensación entre el esfuerzo, y por tanto costo, necesario para adoptar las medidas necesarias y el resultado conseguido.

Sin embargo la extensión de los criterios PH a climas más benévolos y especialmente a climas cálidos ha supuesto retomar esta casuística. Actualmente el PHPP establece, en un 10%, el valor porcentual de la posibilidad de sobrecalentamiento aceptable para seguir obteniendo los adecuados niveles de confort.

Este valor sin embargo es modificable por el usuario y sin duda supone una importante decisión ligada al consumo responsable, establecer cuáles son los niveles de confort o discomfort que somos capaces de aceptar en aras a mejorar la eficiencia y limitar el consumo.

La «sensación» de calor varía con el clima que se tiene, con las costumbres, con la idiosincrasia de los usuarios y con la percepción del mismo. Un incremento de más menos un grado o de hasta un 5% en las condiciones de humedad afectan en gran medida al consumo y a la eficiencia energética y es muy posible que si nos lo planteamos seriamente consideremos la posibilidad de «rebajar» nuestras pretensiones. También las costumbres de horarios y hábitos tanto de trabajo, como de vigilia y sueño se encuentran vinculadas al clima y al confort.



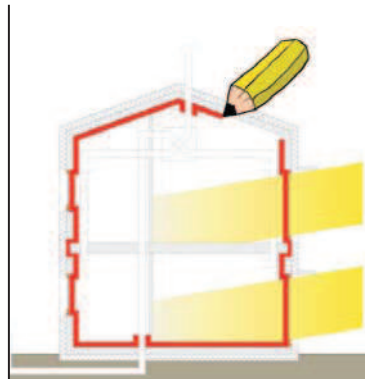
Fotografía 4. Reflejo simulado de los efectos del ambiente interior en el cuerpo humano.

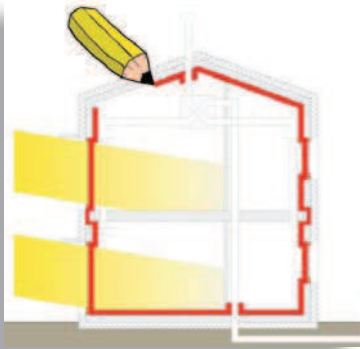
Fuente: Healthy Buildings 2009.

Todas estas disquisiciones son importantes y se encuentran en fase de establecer unos valores estándar e incorporarlos al PHPP, sin embargo todavía no se cuenta con suficientes experiencias en climas cálidos que permitan verificar adecuadamente los valores que surgen de los estudios teóricos realizados hasta la fecha.

3.3. CONCLUSIONES – EL PHPP COMO HERRAMIENTA PARA DISEÑAR Y DIMENSIONAR

Después de explicar más en detalle los diferentes valores del requerimiento del estándar PH se podría tener la impresión, errónea, de que





Guía del estándar Passivhaus

la construcción de una casa PH es un trabajo especialmente complicado. Lo que es relativamente cierto ya que cualquier casa PH es una máquina calibrada específicamente en función de su ubicación, su uso y su ocupación.

Sin embargo gracias al programa PHPP este trabajo de diseñar y calcular se muestra fácilmente realizable. El uso del PHPP en la fase de diseño de un edificio permite observar de forma visible y entendible, tanto para el arquitecto como para otros técnicos de edificación, las consecuencias de adoptar las diferentes opciones. El software PHPP-2007 es en realidad una «sencilla» pero completa hoja de cálculo que todos estamos acostumbrados a manejar.

El programa supone la traslación a una herramienta de uso común de todo el saber teórico y experimental acumulado por el PassivHaus Institut (PHI) desde los años 90 en multitud de ejemplos a lo largo y ancho del mundo.



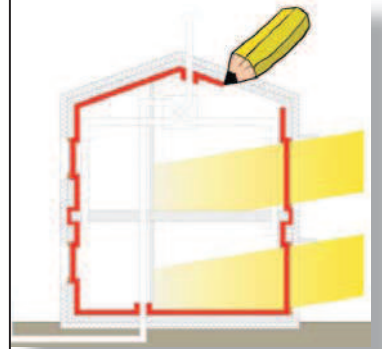
Figura 2. Logo PHI. Fuente: PHI.

En España se cuenta ya con un par de ejemplos de edificios certificados en Granada y Roncal (Navarra) donde el PHPP ha sido aplicado ya con éxito y otros varios proyectos se encuentran actualmente en proceso. También el estándar es de aplicación exitosa en la rehabilitación de edificios mediante unos parámetros adaptados a las posibilidades reales.

Por fin y como último giro «tranquilizante y positivo» de este apartado, comentar que aunque un edificio PH pudiera parecer «complicado» de usar, la influencia de los hábitos del usuario (que por otra parte enseguida se adaptan, como se dice en España «*es fácil acostumbrarse a lo bueno*») solo produce una variación muy limitada de resultados entre el buen y el mal usuario, sin duda una reflexión importante en el momento actual en que se han perdido las tradicionales costumbres de uso y mantenimiento de los edificios.

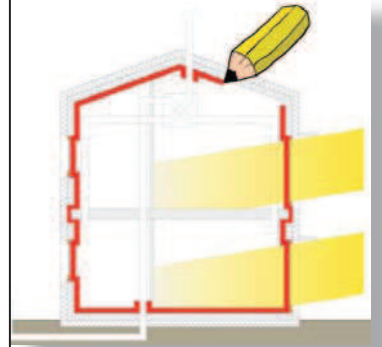
3.4. BIBLIOGRAFÍA

- Certification criteria for residential Passive Houses, www.passivehouse.com, Passive House Institute Dr. Wolfgang Feist.
- Manual PHPP-2007-ES.
- Manual para la certificación «Estándar PassivHaus». versión 23.05.2010 Gunther Gantioler-TBZ. Traducción al castellano 21.01.2011 – Alejandro Cuesta y Micheel Wassouf – TBZ.
- PHPP 2007, The Passive House Planning Package, PHI Dr. Wolfgang Feist.



4

LA ENVOLVENTE OPACA Y EL AISLAMIENTO: MINIMIZAR PÉRDIDAS



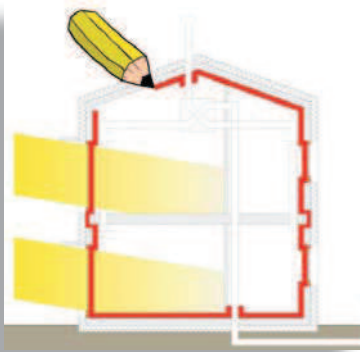
4.1. INTRODUCCIÓN

¿Por qué es importante un buen aislamiento térmico en zonas cálidas?

Muchas veces asociamos aislamiento con protección contra el frío y esto ha dado lugar a que en España no se haya concedido en el ámbito de la construcción la importancia que se merece a esta noble capacidad de los materiales.

El pasado mes de julio de 2011, la Cámara de Comercio Alemana para España, junto con el instituto TBZ España y la empresa Energiehaus organizó la primera apuesta «cubo de hielo» que apoya PEP en nuestro país. El objetivo último del evento era demostrar la eficacia de un buen aislamiento para protegernos contra el calor y concienciarnos del papel fundamental que juega en la reducción de emisiones de CO₂ generadas por los edificios.

El cubo de 1 m³ de hielo estaba protegido del calor por una caja la cual, además de contar con un alto nivel de aislamiento, se había fabricado en un taller con un control de ejecución elevado, de forma que estaba garantizada la estanqueidad al paso del aire.



Guía del estándar Passivhaus



Fotografía 1. Apuesta cubo de hielo.
Fuente: John E. French.

Los valores de transmitancia térmica de esta envolvente son los siguientes:

Paredes: $0,1 \text{ W/m}^2\text{K}$ – aproximadamente 20 cm de aislante térmico.

Cubierta: $0,09 \text{ W/m}^2\text{K}$ – 22 cm aprox.

Solera: $0,21 \text{ W/m}^2\text{K}$ – 12 cm aprox.

La caja cumplía los requisitos del estándar *Passivhaus*.

¿Se derrite o no se derrite? ¿Cuánto va a resistir? Esa era la pregunta que nos hacían los promotores del evento retándonos a averiguar cuántos litros del cubo de hielo serían capaces de resistir 14 días al sol del verano dentro de la caja.

4.2. EL BIENESTAR Y LOS RECURSOS NATURALES

Según datos del IDAE, la climatización supone casi el 50% del consumo energético de un edificio residencial. Sólo en la Comunidad de Madrid el parque de viviendas supera actualmente la cifra de 2,5 millones, con consumidores que cada vez demandan un mayor grado de confort térmico.

Hoy en día el confort que deseamos en todas las estaciones del año en nuestra vivienda y en nuestro puesto de trabajo es mucho mayor al que la mayoría de los edificios tradicionales nos ofrecen. Para alcanzar este

nuevo concepto de bienestar se ha recurrido a sistemas de acondicionamiento caros a base de energías fósiles.

El consumo total del sector podría reducirse de manera significativa mejorando la envolvente de los edificios como primera estrategia: a través de un buen aislamiento térmico. En su estrategia conjunta de actuación, en la que el aislamiento juega un papel preponderante, el estándar Passivhaus propone ahorros energéticos para calefacción y refrigeración del orden de 7 a 10 veces mayor que en los edificios existentes.

La arquitectura tradicional supone un compendio de soluciones de cómo resolver cada edificio empleando únicamente los recursos naturales del lugar con los medios disponibles. Aunque no conoce el concepto de aislamiento, nos puede dar pistas para empezar un diseño en estándar Passivhaus.

El primer paso es determinar qué medidas pasivas y activas se pueden aprovechar.

Para ello se realizan diferentes análisis, como el climograma de isopletas que se muestra a continuación. En él se aprecian las horas en las que hace falta dar sombra (azul oscuro) y cuando es necesario ventilar (azul turquesa). El resto del año la temperatura exterior está por debajo del confort y es necesario aportar energía. Lo ideal sería cumplir esta demanda con radiación solar.

En el climograma de Olgyay, gráfico 2, se representan estos mismos datos y se aprecia si estamos por debajo, dentro o por encima de la zona de confort.

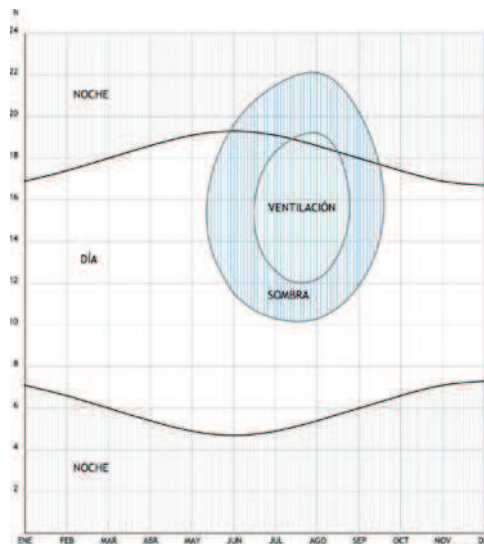
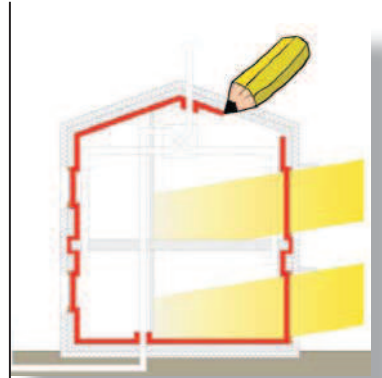
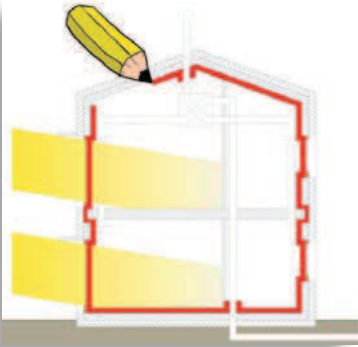


Gráfico 1. Climograma de isopletas. Fuente: Anne Vogt.





- 1 ÁREA DE BIENESTAR
 - 2 ÁREA DE BIENESTAR ADMISIBLE
- ÁREAS QUE PUEDEN ALCANZAR EL BIENESTAR CON LAS SIGUIENTES ACTUACIONES BIOCLIMÁTICAS
- 3 MASA TÉRMICA
 - 4 ENFRÍAMIENTO EVAPORATIVO
 - 5 VENTILACIÓN NATURAL PERMANENTE
 - 6 VENTILACIÓN NATURAL NOCTURNA
 - 7 GANANCIAS INTERNAS
 - 8 SISTEMAS SOLARES PASIVOS
 - 9 SISTEMAS SOLARES ACTIVOS
 - 10 HUMIDIFICACIÓN

- ÁREAS QUE DEBEN ALCANZAR EL BIENESTAR CON TÉCNICAS DE ACONDICIONAMIENTO CONVENCIONALES
- 11 REFRIGERACIÓN
 - 12 CALEFACCIÓN

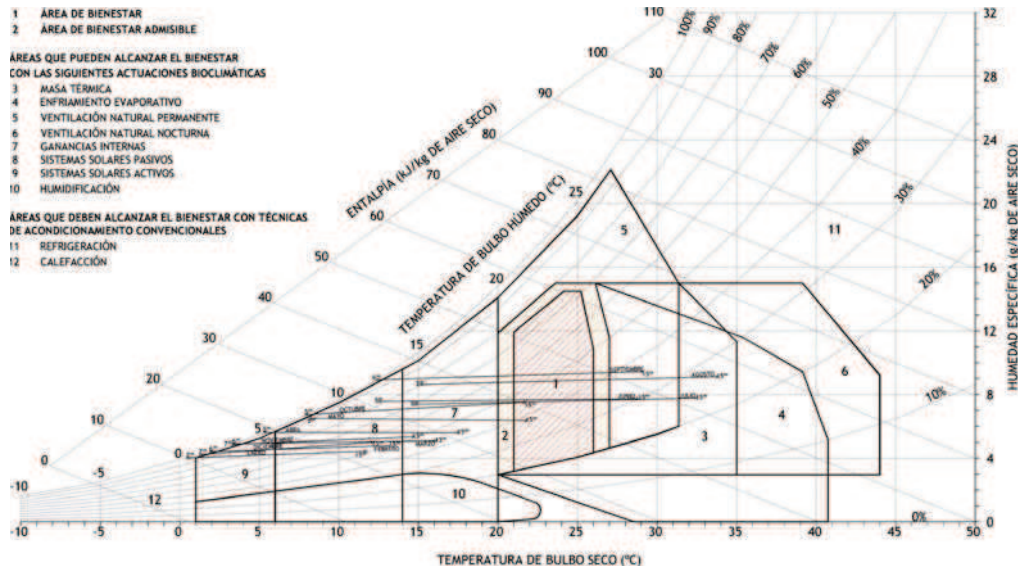


Gráfico 2. Climogramas Olgyay. Fuente: Anne Vogt.

Estas estrategias previas pueden suponer un importante porcentaje de ahorro para mejorar la base de la que partimos en un diseño *Passivhaus*.

4.3. LA ENVOLVENTE OPACA

Llegados a este punto del diseño, las estrategias bioclimáticas nos han ayudado a recorrer la mitad del camino, pero nos hace falta recorrer el otro medio.

Este capítulo se centra en la mejora de la envolvente opaca.

4.3.1. Breve repaso a los conceptos térmicos

La envolvente térmica de un edificio cuenta con una parte opaca (fachada, cubiertas, suelos y tabiques en contacto con locales no acondicionados) y una parte transparente (huecos de fachada y lucernarios).

Los cerramientos que componen la parte opaca están compuestos de una o varias capas de distintos materiales.

Las propiedades de dichos materiales que influyen en el comportamiento térmico de la envolvente son:

λ : La **Conductividad Térmica** de un material define la cantidad de calor que pasa en una unidad de tiempo a través de una unidad de superficie con caras planas y paralelas con una diferencia de temperatura de 1 K. Un valor de conductividad térmica bajo significa que el material aísla más.

Unidad: W/Km.

R: La **Resistencia Térmica** es el producto del espesor (e) por la resistividad (r) y el cociente entre espesor y conductividad térmica.

Unidad: m²K/W.

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

Λ : La inversa de la resistencia térmica se denomina **Conductancia Térmica**.

ρ : La **Densidad** es el valor que expresa la relación entre la masa (m) y el volumen (V) de un cuerpo.

Unidad: kg/m³.

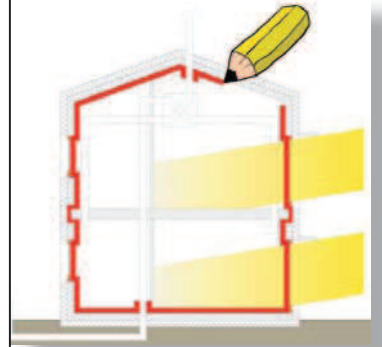
$$\rho = \frac{m}{V}$$

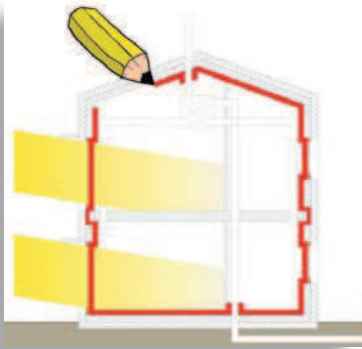
Las capas de distintos materiales le confieren al elemento constructivo resultante una serie de cualidades y el parámetro utilizado para evaluarlas es la transmitancia térmica.

La transmitancia térmica de los elementos de la envolvente nos proporciona información para conocer el grado de eficiencia energética de un edificio. Cuanto menor es el valor, menos energía atraviesa la envolvente.

U: **Transmitancia Térmica** se define como el flujo de calor, en régimen estacionario, dividido por el área y la diferencia de temperaturas de los medios situados a cada lado del elemento que se considera. Se mide en W/m²K.

$$U = \frac{1}{R} = \frac{1}{R_{int} + \sum e/\lambda + R_{ext}}$$





Guía del estándar Passivhaus

R_{int} y R_{ext} : Resistencias térmicas superficiales correspondiente al aire interior y exterior respectivamente.

4.3.2. El papel del aislamiento

Uno de los materiales que más influye en el comportamiento final de un cerramiento es el aislamiento, ya que debido a su alta resistencia térmica impide que entre o salga el calor. Su posición dentro del muro es determinante para el buen funcionamiento térmico del elemento constructivo.

En climas cálidos siempre es aconsejable colocar el aislamiento en el exterior y tener la inercia térmica en el interior.

Es fundamental no confundir los conceptos de inercia térmica y aislamiento. La inercia térmica es la capacidad de un material de almacenar calor y es fundamental porque nos garantiza una mayor estabilidad de la temperatura interior y menos dependencia de la fluctuación de la temperatura en el exterior.

Pero la masa térmica no aísla. La energía se va poco a poco por la envolvente. Un muro de piedra es un claro ejemplo de un elemento constructivo con gran inercia térmica, pero con escasa capacidad de aislamiento (ver también Tabla 1, comparación espesores).

Al igual que la posición en el interior o en el exterior del muro, es imprescindible una correcta puesta en obra que nos garantice una elevada estanqueidad y ausencia de puentes térmicos.

Aislar la envolvente opaca también conlleva que no entra calor desde fuera hacia dentro durante la época fría. Si se comparan las ganancias solares a través de las ventanas con las de la envolvente opaca, éstas últimas tienen mucha menor importancia. Por tanto, las ganancias solares - necesarias en la época fría del año - se deben regular por las aberturas y no por la envolvente opaca.

Otro efecto positivo al tener un buen aislamiento es que la temperatura superficial de la cara interior de la envolvente se acerca más a la temperatura de confort que queremos.

La sensación térmica dentro de una habitación no es solamente la temperatura del aire sino la suma de la temperatura del aire y la temperatura media de las superficies:

$$\text{Sensación térmica} = \frac{\text{temperatura del aire} + \text{temperatura media superficies}}{2}$$

En la misma habitación con 20 °C de temperatura del aire podemos sentir frío, bienestar o calor dependiendo de la temperatura de superficie de los cerramientos.

4.3.3. La envolvente en el estándar *Passivhaus*

Uno de los principios básicos del estándar Passivhaus es conseguir que sus edificios funcionen de forma pasiva -como un termo- conservando el calor o el frío gracias al aislamiento térmico, a diferencia de un edificio convencional que emplearía sistemas activos para mantener el calor -como una cafetera- que utiliza una resistencia eléctrica.

Esto se puede apreciar claramente en la termografía de la cafetera y el termo que se muestra en el capítulo de introducción al estándar.

Un fundamento básico del estándar Passivhaus es definir de forma precisa la envolvente térmica. Como se muestra en las imágenes, tanto la capa de aislamiento como la de estanqueidad (de la que se hablará en otro capítulo) deben ser continuas.

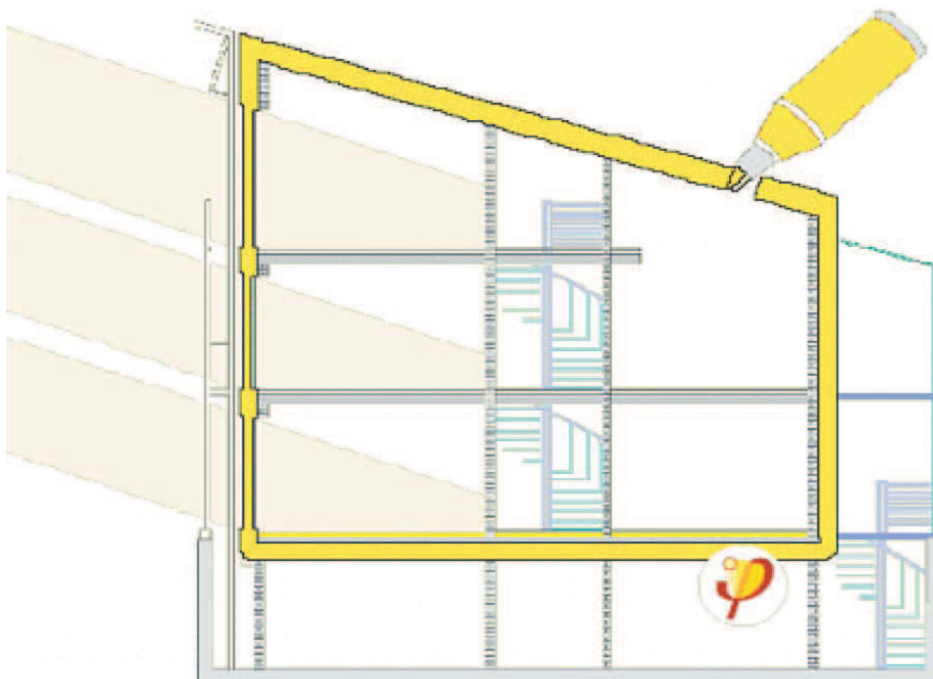
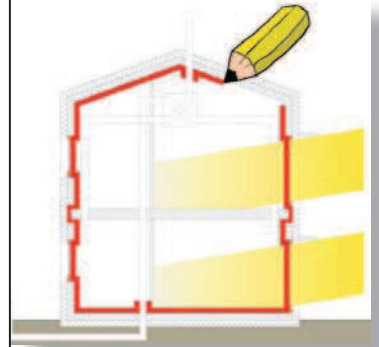
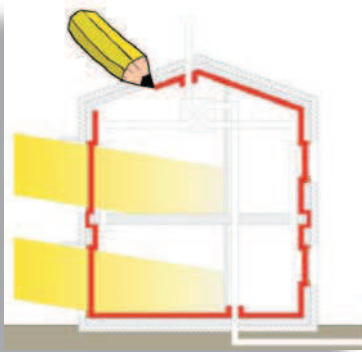


Figura 1. Capa continua de aislamiento.
Fuente: Passive House Institute PHI.



Guía del estándar Passivhaus

En el estándar *Passivhaus* no importa sólo el espesor del aislamiento en fachadas, cubiertas y suelos sino una continuidad del mismo entre todos estos elementos.

Si no existe continuidad estos puntos de encuentro significan puentes térmicos, que además de ser fuentes de condensaciones suponen una pérdida de energía considerable. En un edificio poco eficiente las pérdidas debidas a puentes térmicos representan un porcentaje pequeño con respecto al total, pero en un edificio muy eficiente como los del estándar *Passivhaus*, estas pérdidas cobran más protagonismo.

Los puentes térmicos y su influencia es un tema amplio por lo que se desarrolla en el siguiente capítulo de la guía.

El estándar *Passivhaus* no exige un espesor de aislamiento, sino que limita las demandas de calefacción, refrigeración, energía primaria y estanqueidad.

En el Passive House Institute se llevan a cabo muchos estudios para determinar el valor de transmitancia térmica de la envolvente. Según el estudio Passive- On en España se recomienda un valor de U de $0,3 \text{ W/m}^2\text{K}$ para alcanzar la relación óptima de eficiencia.

La Tabla 1 nos muestra el grosor que debería tener un material para cumplir con una transmitancia de $0,3 \text{ W/m}^2\text{K}$. Se puede observar cómo para conseguir espesores racionales es imprescindible emplear aislamiento.

Tabla 1. Comparación espesores necesarios.

MATERIAL	TRANSMITANCIA TÉRMICA (W/mK)	ESPESOR NECESARIO PARA ALCANZAR $0,3 \text{ W/m}^2\text{K}$ (m)
Hormigón	2,3	7,30
Tabique macizo	0,80	2,50
Tabique aligerado	0,40	1,25
Madera conífera	0,13	0,40
Paja	0,055	0,18
Aislamiento estándar	0,040	0,13
Aislamiento mejorado	0,025	0,08

Para que quede más claro, en la siguiente tabla se muestra un ejemplo en Alemania de una casa con 100 m² de fachada. En primer lugar se citan las pérdidas y costes anuales si su muro exterior tuviese un valor de transmitancia alto como los edificios antiguos (1,250 W/m²K). En segundo lugar aparecen los resultados con una envolvente que cumple con las recomendaciones del Passive House Institute entre 0,1 y 0,15 W/m²K para Alemania.

Tabla 2. Comparación de envolventes.

TRANSMITANCIA TÉRMICA (W/m ² K)	PÉRDIDA DE CALOR (W)	PÉRDIDA DE CALOR ANUAL (kWh/a)	COSTE ANUAL, SOLO MUROS EXTERIORES (€/a)
1,250	4.125	9.750	644
0,125	412	975	64

Fuente: Passive House Institute PHI.

En España las pérdidas durante la época fría no son tan importantes como en Centroeuropa, sin embargo hay que considerar también el ahorro energético que supone construir según el estándar *Passivhaus* en la época estival.

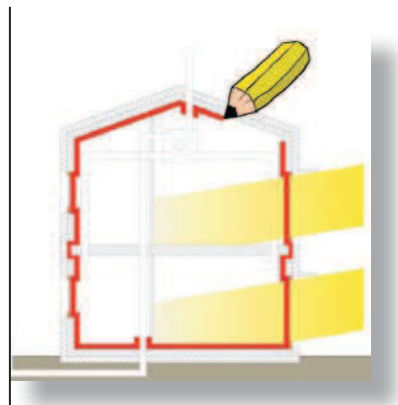
4.4. LA REHABILITACIÓN EN EL ESTÁNDAR *PASSIVHAUS*

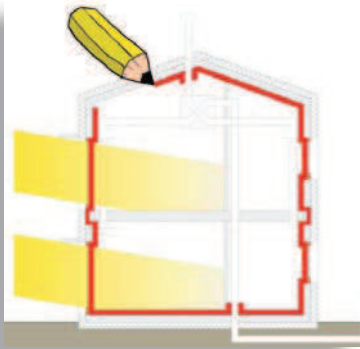
Existe la falsa creencia de que el estándar *Passivhaus* se desarrolló únicamente para edificios de nueva construcción. En este punto se quiere desmentir esto y mostrar algunos ejemplos de rehabilitaciones ya realizadas según el estándar.

En edificios existentes hay una serie de condiciones de partida que hacen que sea más complicado alcanzar los elevados requisitos del estándar. Por eso, el Passive House Institute ha creado una nueva certificación llamada «EnerPHit» que se adapta a estos casos.

4.4.1. La rehabilitación energética. Perspectivas de futuro

El mercado inmobiliario español prácticamente ha agotado los recursos de suelo urbanizable para construir obra nueva y cuenta con un excedente de inmuebles con malas condiciones de habitabilidad. Esta situación acompañada de la enorme dependencia energética





Guía del estándar Passivhaus

de España, han hecho que se esté desarrollando un nuevo concepto de rehabilitación, en el que una de las prioridades es aumentar el confort de los edificios existentes a la vez que se reduce el consumo energético.

En España la mayoría de los edificios están contruidos sin el aislamiento adecuado, lo que conlleva un gran impacto económico durante toda su fase de uso, por lo que en los próximos años el gran reto de los profesionales del sector se centra en resolver esta situación y convertir nuestras ciudades y edificios en lugares mejores para vivir.

En varios países europeos como Alemania e Italia, ya se han llevado a cabo con gran éxito proyectos de rehabilitación en los que se ha rehabilitado a base de componentes típicos Passivhaus hasta conseguir el certificado estándar EnerPHit del Passive House Institute. De nuevo, gran parte de los esfuerzos realizados se centran en mejorar la piel del edificio.

4.4.2. ¿Cómo mejorar la envolvente opaca de edificios existentes?

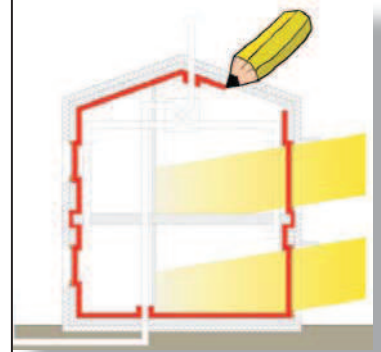
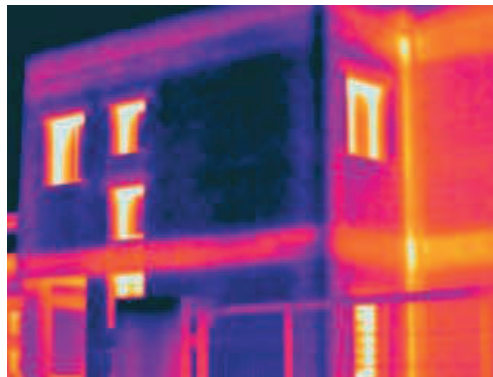
Antes de acometer una rehabilitación energética es necesario realizar un análisis del edificio.

Existen varios métodos para determinar el grado de eficiencia de una envolvente: inspección ocular, simulaciones, mediciones in situ, etc.

Para medir las variables térmicas y conocer las características de los cerramientos se emplean distintas técnicas no destructivas.

La termografía es la técnica que nos permite conocer la temperatura de un objeto mediante el análisis de la radiación infrarroja emitida por el mismo, sin necesidad de contacto físico con el objeto a estudiar.

Aplicado al análisis de cerramientos, la termografía permite detectar fácilmente deficiencias en el aislamiento y puentes térmicos.



Fotografía 2. Análisis termográfico de una fachada. Fuente: Rafael Royo.

El análisis termoflujométrico es otra técnica que nos permite determinar el flujo de calor que realmente pasa a través de un cerramiento y la transmitancia térmica (U) del mismo.

Toda la información obtenida mediante estos ensayos es muy útil para la correcta elección de las actuaciones a realizar en una rehabilitación térmica.

A continuación se describe el proyecto de rehabilitación de un edificio de apartamentos en Frankfurt am Main, haciendo especial énfasis en aquellas actuaciones que conciernen a la mejora de la envolvente opaca.

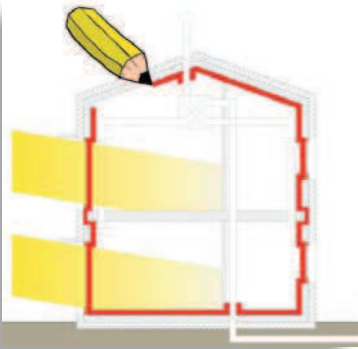
Este ejemplo tiene el valor añadido de que, una vez finalizada la obra, fue monitorizado durante dos años, demostrando que pueden alcanzarse los requisitos del estándar Passivhaus en proyectos de rehabilitación.

EDIFICIO DE APARTAMENTOS
Tevesstrasse, Frankfurt am Main
Año de la rehabilitación: 2005/06

Reducción de la demanda de calefacción (cálculo realizado con el PHPP y comprobado mediante monitorización)

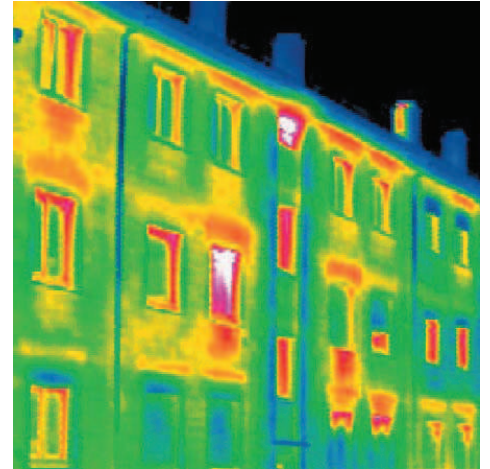
94%

	ANTES		DESPUÉS	
Transmitancia térmica (W/m²K)	Muro	1,3	Muro	0,12
	Forjado ático	1,6	Forjado ático	0,11
	Forjado sótano	1,3	Forjado sótano	0,17
	Ventanas	2,2	Ventanas	0,87
Demanda anual calefacción (kWh/m²a)	290		17	

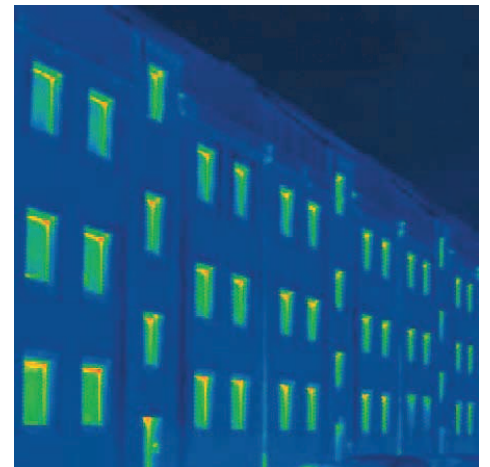


Guía del estándar Passivhaus

Antes:



Después:



Fotografía 3. Edificio de apartamentos Tevesstrasse, Frankfurt am Main.
Fuente: Passive House Institute.

Las actuaciones realizadas fueron las siguientes:

- Mejora de los muros con aislamiento exterior y acabados.
- Aislamiento del forjado de planta baja en contacto con el sótano.
- Modificación de la distribución en planta para lograr viviendas de mejor calidad.
- Construcción de una nueva planta ático de madera prefabricada completamente aislada.

La envolvente opaca y el aislamiento: minimizar pérdidas

- Sustitución de las ventanas antiguas por unas nuevas de triple vidrio.
- Instalación de un sistema de ventilación con recuperación del calor descentralizado con un aparato por vivienda.
- Mejora de la capa estanca.
- Reducción de puentes térmicos.
- Sustitución de las instalaciones antiguas por otras más eficientes.

La monitorización realizada durante el invierno de 2007/2008 dio como resultado que la energía consumida en calefacción durante ese periodo fuera de 15,5 kWh/m²a para una temperatura media de los apartamentos de 21,8 °C, un resultado incluso mejor que el cálculo.

Otro ejemplo que ha marcado un hito en la rehabilitación *Passivhaus* es el edificio EXPOST en Bolzano del arquitecto Michael Tribus, además de ser una rehabilitación, es el primer edificio administrativo construido según el estándar en Italia.

Antes

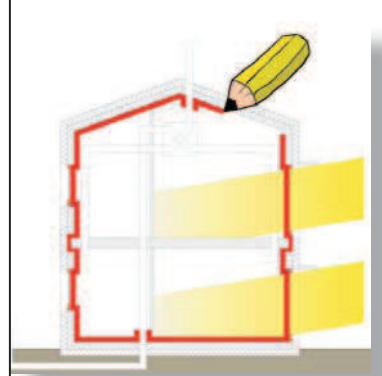


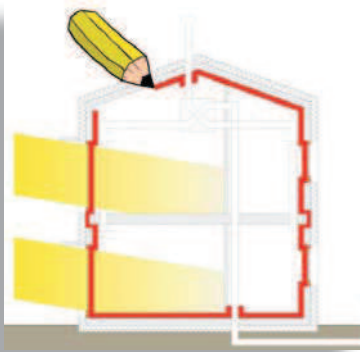
Después



Fotografía 4. Edificio Expost Bolzano, Italia. Fuente: Michael Tribus Architecture.

También existen ejemplos de rehabilitaciones de edificios protegidos. El caso que se muestra a continuación es una vivienda unifamiliar del siglo XVIII con fachada protegida.





Guía del estándar Passivhaus

Antes



Después



Fotografía 5. Günzburg, Alemania.
Fuente: www.passivhausprojekte.de.

La siguiente imagen es de la rehabilitación de una escuela de unos 1.000 m² donde se consiguió bajar la demanda de calefacción un 93,2%.



Fotografía 6. Escuela en Baesweiler, Alemania.
Fuente: www.passivhausprojekte.de.

4.5. ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA EN AISLAMIENTOS

El estándar Passivhaus propone cambiar el modo de pensar los edificios. Parte del diseño mismo, del empleo de métodos pasivos para alcanzar la máxima eficiencia y reducir el empleo de energía proveniente de combustibles fósiles.

Una vez que el estándar Passivhaus ha resuelto el problema del impacto ambiental de los edificios durante la fase de uso de los mismos, se puede ir más allá e intentar dar un paso hacia atrás en la línea del tiempo para evaluar el impacto de los materiales empleados en su construcción, y un paso adelante, para prever las actuaciones a realizar al final de la vida útil del edificio.

No se debe perder nunca de vista el balance general de energía empleada y CO₂ incorporado en los procesos y materiales.

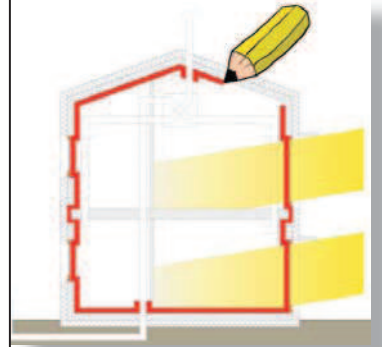
Si empleamos materiales o técnicas con gran impacto ambiental para ahorrar durante la vida útil del edificio, el balance general debe salir positivo.

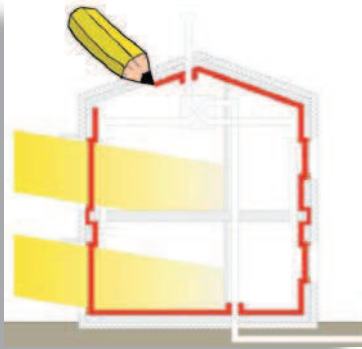
En la plataforma belga Maison Passive se está trabajando en un ambicioso proyecto llamado beACV que pretende complementar los requisitos tradicionales del estándar Passivhaus con el Análisis del Ciclo de Vida (ACV) de los materiales empleados para la construcción de los edificios.

El impacto ambiental de un material puede obtenerse realizando el Análisis de Ciclo de Vida del mismo mediante un método reconocido de los varios que existen, o bien a través de las EPDs (Environmental Product Declaration).

Una EPD es una eco-etiqueta de tipo III que nos proporciona información objetiva sobre los impactos ambientales de un material. Hasta ahora los fabricantes incluían únicamente datos como resistencia al fuego, conductividad térmica, composición, etc.

Varios países europeos ya han desarrollado sus propios sistemas de EPDs. En España, por ejemplo, se está desarrollando un sistema voluntario de Declaración Ambiental de Productos de la Construcción (DAPc) que cuenta ya con los primeros materiales en su base de datos, entre los que se encuentran varios tipos de aislamiento.





Guía del estándar Passivhaus

Estos métodos nos permiten, por fin, trabajar con datos ambientales objetivos que nos ayudan en nuestro camino hacia la edificación sostenible.

4.6. CONCLUSIÓN

Volviendo al ejemplo de la introducción y como conclusión al artículo, aquí se detallan los resultados de la apuesta del cubo de hielo.

La temperatura media exterior del 8 al 21 de julio 2011 en Barcelona fue 24,6 °C. La temperatura en el interior de la caja aislada bajó de 30 grados a valores por debajo de un grado al cabo de 27 horas y se mantuvo entre 0,2 y 0,3 grados durante la segunda semana.

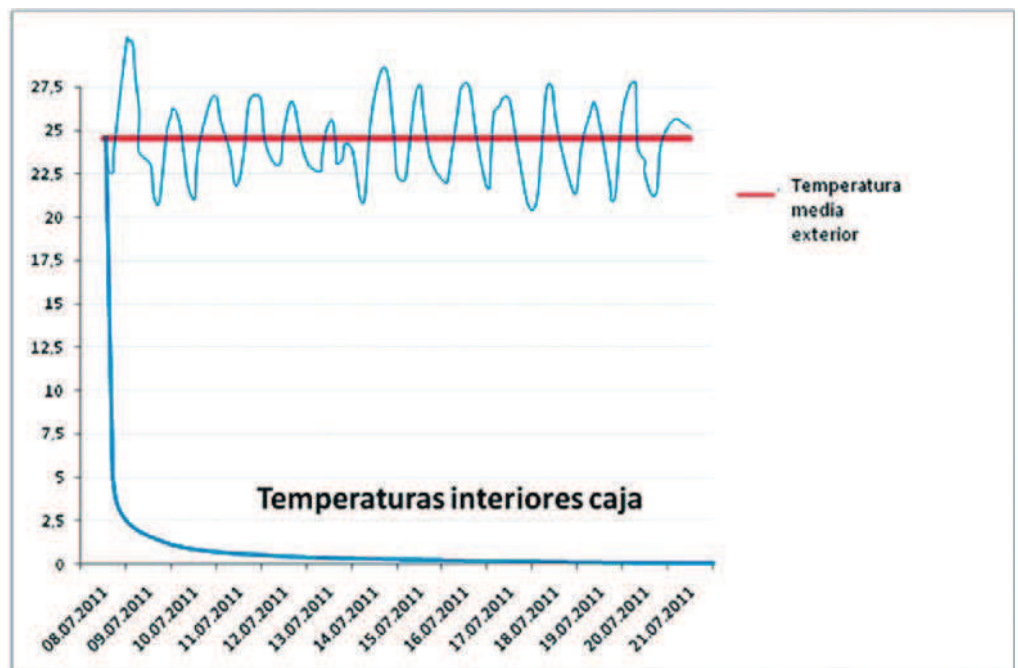


Gráfico 3. Temperaturas interiores de la caja. Fuente: Micheel Wassouf, TBZ.

En la apuesta participaron un centenar de personas. Algunos creyeron que sólo 50 l de hielo resistirían al calor. Pasados los catorce días los asistentes a la clausura pudieron comprobar que 791 l de hielo sobrevivieron al verano barcelonés. Sólo se derritió el 20,9%.

Las simulaciones con la herramienta dinámica TAS han concluido que, en el mismo experimento realizado teóricamente con una envolvente construida según la normativa actual, se hubiese derretido más del doble de la cantidad de hielo, aproximadamente un 40%.

Trasladado a la edificación, esto significa que para conseguir las mismas condiciones de confort, sería preciso emplear el doble de energía.

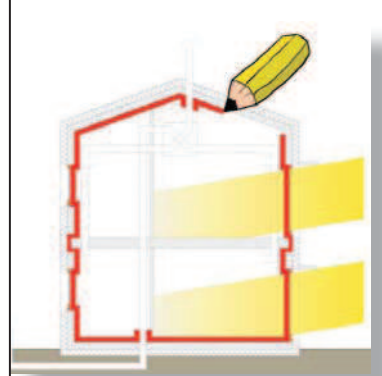
Con este experimento queda demostrada la capacidad del aislamiento térmico de mantener los espacios interiores frescos en verano, cuando en el exterior las temperaturas suben por encima de los 30 °C, siempre y cuando se lleve a cabo una ejecución correcta.

En resumen, a pesar de que hoy en día existen máquinas y tecnologías cada vez más potentes para solucionar todos los problemas y hacer funcionar cualquier edificio diseñado sin criterios de eficiencia, nuestra responsabilidad como diseñadores, constructores y clientes es lograr que nuestros edificios no sean grandes consumidores de energía y hacerlo de la manera más sencilla posible: mediante medidas pasivas.

Una buena envolvente es uno de los principios básicos para minimizar las pérdidas y por tanto, para lograr edificios eficientes.

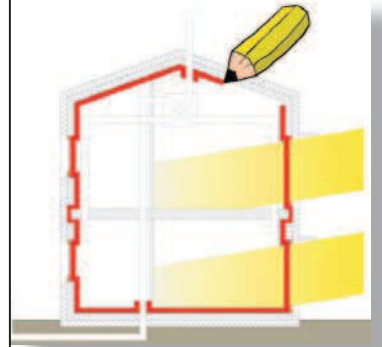
4.7. BIBLIOGRAFÍA

- Documento Básico HE (Código Técnico de la Edificación). Ahorro de Energía.
- www.cepheus.de
- <http://passipedia.passiv.de>
- www.passiv.de
- www.passive-on.org/es
- www.passivhausprojekte.de/projekte.php?lang=en
- www.plataforma-pep.org
- www.ig-passivhaus.de



5

QUÉ SON LOS PUENTES TÉRMICOS Y CÓMO SE EVITAN



5.1. QUÉ ES UN PUENTE TÉRMICO

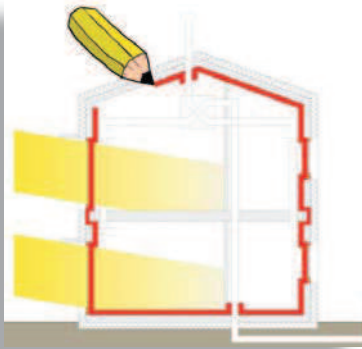
Dice el CTE que se consideran puentes térmicos (en adelante PT) las zonas de la envolvente del edificio en las que se evidencia una variación de la uniformidad de la construcción, ya sea por un cambio del espesor del cerramiento, de los materiales empleados, por penetración de elementos constructivos con diferente conductividad, etc., lo que conlleva necesariamente una minoración de la resistencia térmica respecto al resto de los cerramientos.

La razón de la minoración de la resistencia térmica en un punto de la envolvente se debe principalmente a dos motivos:

- Cambio en la solución constructiva del propio cerramiento, ya sea por la presencia de un pilar, un capialzado, la hornacina de un radiador, etc. Estos puentes térmicos forman parte del propio cerramiento y se denominan PT INTEGRADOS EN FACHADAS.
- Encuentros de cerramientos, particiones interiores o elementos exteriores (un voladizo por ejemplo) donde la discontinuidad geométrica induce un aumento en la densidad del flujo de calor. Son los denominados PT LINEALES O DE ENCUESTRO.

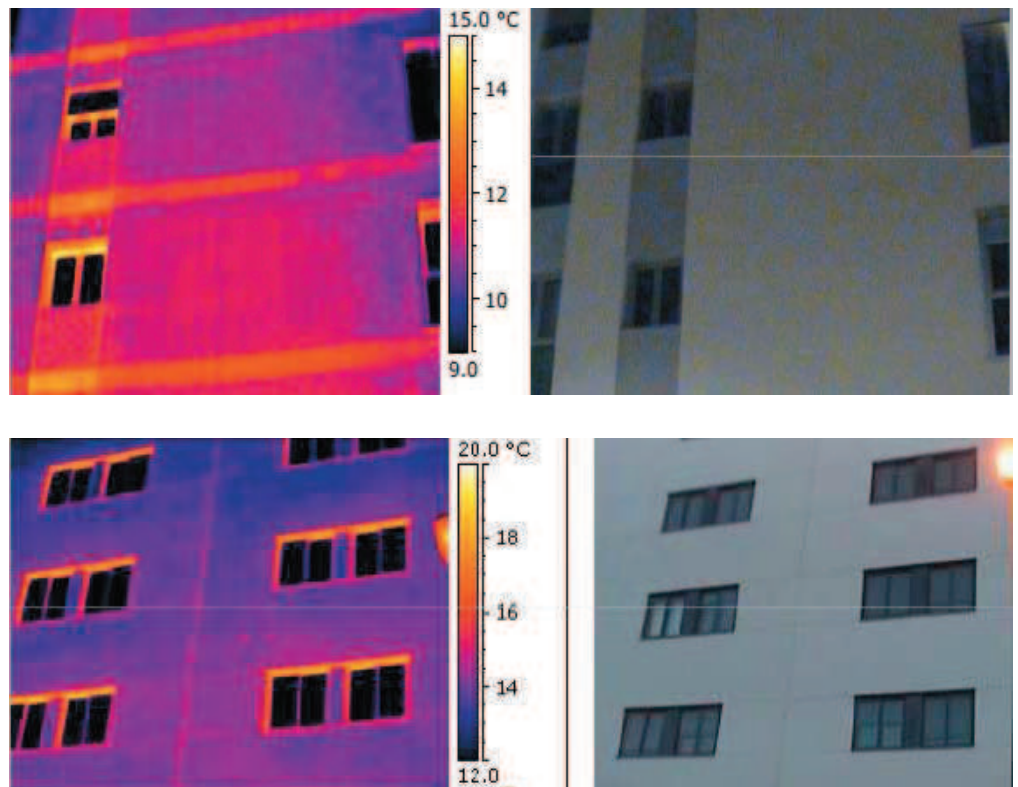
5.2. QUÉ SUPONE UN PUENTE TÉRMICO

Un puente térmico se comporta en la envolvente térmica de un edificio como un agujero en un cubo de agua, aumenta el flujo de calor entre el interior y el exterior de la misma forma que el agujero en el cubo derrocha el agua del interior. En un edificio de viviendas que cumpla normativa, la mejora de aislamiento en puentes térmicos puede conlle-



Guía del estándar Passivhaus

var ahorros de entre un 20% a un 30%. Este porcentaje es tanto mayor, cuanto mejor es el aislamiento de los cerramientos (cuando disminuyen las pérdidas en el resto de la envolvente, los PT cobran una mayor importancia en términos relativos), de forma que un edificio con aislamientos cercanos al de un *Passivhaus*, las pérdidas energéticas a través de unos PT mal tratados puede suponer cerca del 50%.



Fotografía 1. Frentes de forjado sin aislamiento y marcos de ventana sin rotura de puente térmico detectados en una inspección con termografía en el Ecobarrio de Valdespartera (Zaragoza).
Fuente: GEE (Grupo de Energía y Edificación).

Habitualmente, en el cálculo de las necesidades de calefacción y refrigeración de los edificios, consideramos que el flujo de calor es perpendicular a los cerramientos y, por lo tanto, unidimensional. La normativa UNE 6946 (Apéndice E, CTE-HE1) nos da las claves del cálculo de ese flujo a través de la transmitancia térmica del cerramiento, pero este cálculo es únicamente válido para composiciones de capas plano-paralelas de materiales en las zonas no cercanas al borde del cerramiento. Tenemos que pensar que, alejados del borde, a cada centímetro cuadrado de la capa caliente del cerramiento, le corresponde otro centímetro cuadrado en la capa fría. El calor migra en dirección perpendicular al cerramiento, porque es el camino más corto entre ambos puntos y, por lo tanto, el camino con menor resistencia térmica. El calor, al igual que el agua, toma el camino que menos resistencia supone.

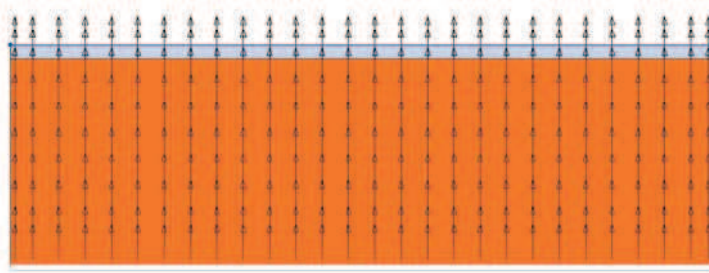


Figura 1. Líneas de flujo de calor en una pared constituida por un bloque de arcilla de 29 cm y aislamiento exterior. Los bordes derecho e izquierdo se consideran adiabáticos en su estudio, por considerar que estamos alejados del borde.

Fuente: Elaboración propia.

Pensemos ahora lo que ocurre cuando nos acercamos a una esquina, encuentro entre dos cerramientos. Supongamos que no tenemos ningún pilar en esquina y que, por lo tanto, la capa de aislamiento es continua y su espesor constante (cosa, por otra parte, poco habitual en los sistemas constructivos españoles actuales). Si analizamos el comportamiento del flujo de calor que atraviesa la superficie del cerramiento junto a la esquina, veremos que a cada centímetro cuadrado de la cara caliente no solo le corresponde su opuesto en la cara fría, sino 10 o 15 cm (dependiendo del espesor) entre su opuesto y la esquina exterior. El flujo no es pues únicamente perpendicular sino que toma varias direcciones cerca de la esquina. Un cálculo en una dimensión es por lo tanto insuficiente. Para el cálculo de este puente térmico es necesario un método en 2D como la UNE 10211, basado en las diferencias finitas; una discretización de la solución constructiva en pequeñas porciones entre las que un programa informático es capaz de evaluar el flujo de calor dependiendo de las condiciones térmicas de las caras fría y caliente.

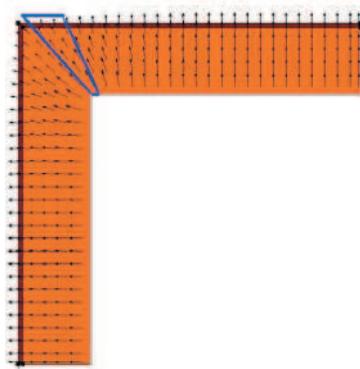
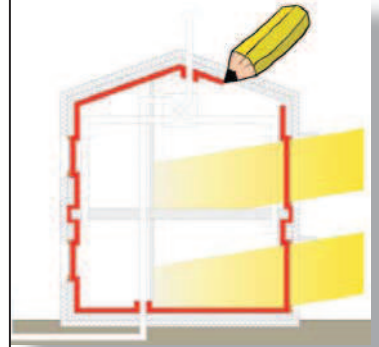
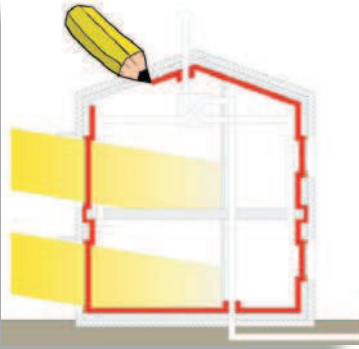


Figura 2. Líneas de flujo de calor en una esquina saliente con la misma solución constructiva que en el caso de la fotografía 1. Puede apreciarse cómo el flujo sufre una desviación respecto de la dirección perpendicular al cerramiento cuando nos acercamos a la esquina.





Existe un peligro adicional a la fuga de calor derivado de la existencia de un puente térmico: la condensación. Pensemos otra vez en la superficie de la cara caliente del cerramiento junto a la esquina. Tal y como ya se ha indicado, se produce un aumento del flujo de calor en ese centímetro cuadrado. Si aumenta el flujo de calor, la temperatura superficial de este punto disminuirá con respecto al resto del cerramiento, pudiendo llegar a condensar el vapor de agua del aire en el interior del edificio. Incluso si no se produjera condensación, un punto frío puede desarrollar moho si la humedad relativa en ese punto es cercana al 80%.



Fotografía 2. Efectos de condensación en puentes térmicos.

Ya sea desde un punto de vista térmico o de la salubridad del aire interior, las soluciones constructivas adoptadas por el proyectista y la posterior ejecución de los encuentros de los cerramientos de la envolvente, los huecos y otros elementos, deben asegurar la continuidad de la capa aislante, reduciendo al máximo los efectos perniciosos que tienen los PT.

Un claro ejemplo de lo contrario, que todavía hoy puede verse en la construcción española, es la formación de terrazas mediante el vuelo de la losa de los forjados. La estructura de hormigón, sin aislamiento interior alguno en la mayoría de las ocasiones, transmite el calor desde el interior de la vivienda hacia la terraza, que se comporta como un sistema de disipación de energía. Pensar en la sección de una vivienda de este estilo, recuerda al diseño de los motores de combustión con refrigeración por aletas. El diseño no solo no protege, sino que fomenta la disipación del calor de las viviendas.

Eliminar los PT no solo supone añadir aislamiento, sino cambiar el modo de concebir la estructura y la envolvente de los edificios.

5.3. TRATAMIENTO DE UN PUENTE TÉRMICO EN EL CTE

La entrada en vigor del Código Técnico de la Construcción (CTE) a través del RD314-2006 y, en especial, su Exigencia básica de Limitación de la Demanda Energética (CTE-HE1) es un gran avance en la mejora de la eficiencia en la construcción y el «tratamiento adecuado de los puentes térmicos», tal y como se recoge en el propio documento.

La verificación prescriptiva¹ del cumplimiento del CTE-HE1 distingue dos métodos posibles: uno general y otro simplificado, válido fundamentalmente para edificios con un porcentaje de huecos en fachadas inferiores al 60%². En este apartado se analizará el tratamiento que reciben los PT de las dos tipologías anteriormente explicadas en ambos métodos de verificación de las condiciones exigidas por la normativa, tanto desde el punto de vista de la limitación de demanda energética como de la ausencia de condensaciones superficiales.

5.3.1. Método simplificado

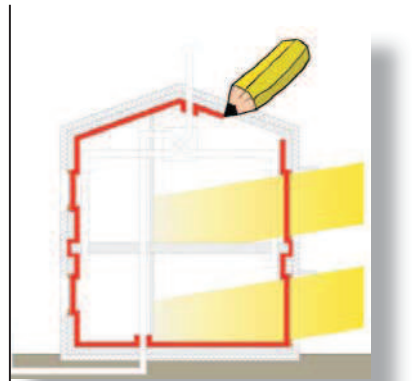
A. Puentes térmicos integrados en fachada

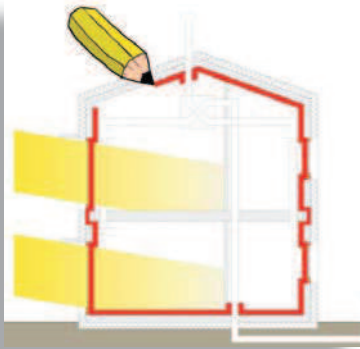
En el método simplificado se consideran PT integrados en fachada a los contornos de huecos y lucernarios, pilares y cajas de persianas que superan los 0,5 m² (otros PT tipo hornacina para radiador también deberán incluirse, aunque no estén recogidos explícitamente en la TABLA 3.1 del CTE-HE1). Este límite, sin embargo, se refiere a la suma total de cada tipología de PT en cada fachada. Así, si una caja de persiana tiene una superficie de 0,15 m², pero en una determinada fachada el número de ventanas excede las 4, entonces sí consideraremos las cajas de persiana como PT en esa fachada en concreto.

Una vez detectado un PT deberemos calcular su transmitancia térmica de forma convencional, como inversa de la suma de las resistencias

¹ En la redacción del CTE se distinguen dos procedimientos: uno prescriptivo y otro prestacional. El primero se basa en el cumplimiento de las especificaciones y las soluciones tal y como aparecen en el documento. El segundo deja abierta la puerta al proyectista, siempre y cuando se cumplan las exigencias básicas de ahorro de energía y salubridad en el caso de los PT.

² En caso de que una fachada supere el 60% de porcentaje de huecos, si el área de la fachada representa menos del 10% de la suma total de las fachadas el método simplificado también es aplicable. Quedan excluidos de este método edificios con cubiertas cuyo porcentaje de lucernarios supera el 5% del área de cubierta, así como edificios que incluyan soluciones constructivas no convencionales tipo muro trombe.





Guía del estándar Passivhaus

térmicas de las distintas capas que lo constituyen³ siguiendo la hipótesis del flujo unidireccional de calor⁴.

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum_{i=1}^n \frac{e_i}{\lambda_i} + R_{se}}$$

Donde:

- R_{si} y R_{se} (m^2K/W): Resistencia superficial exterior convectivo-radiante, valores 0,13 y 0,04 m^2K/W respectivamente para cerramientos exteriores verticales.
- e (m): Espesor de las diferentes capas de material.
- λ (W/mK): Conductividad térmica de los materiales de cada capa.

El método simplificado no establece a priori un valor máximo para la transmitancia térmica de los PT, de la misma forma que lo hace para el resto de las soluciones constructivas en la TABLA 2.1. Para cada fachada se calcula una transmitancia térmica media de todas las soluciones constructivas, donde deben estar incluidos los PT tal y como se recoge en la TABLA 3.1.

De esta manera y dado que para cada zona climática (dependiendo de la severidad climática en invierno⁵) existe un límite para la transmitancia térmica media de la fachada, un PT térmico no debe estar necesariamente aislado, si esa falta de aislamiento se ve compensada con un mejor aislamiento del resto de los cerramientos.

La limitación de este valor de transmitancia del PT viene dada, sin embargo, por la comprobación de la ausencia de condensaciones superficiales.

Para la evaluación del peligro de formación de moho se utiliza un factor adimensional denominado FACTOR DE TEMPERATURA, resultante de dividir la diferencia entre la temperatura superficial interior del PT y la

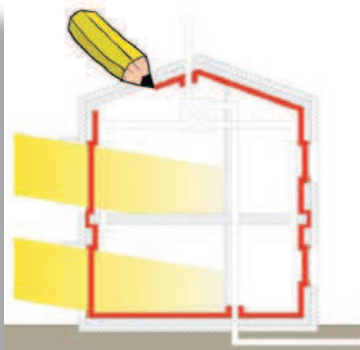
³ Apéndice E del CTE-HE1-Apartado E1.

⁴ Aplicar el Apéndice F del CTE-HE1 para el cálculo de la resistencia térmica de un PT constituido por capas heterogéneas.

⁵ Consultar Apéndice D del CTE-HE1.

$$fR_{si} = \frac{\theta_{si} - \theta_e}{\theta_i - \theta_e}$$

- CLIMA: Severidad climática en invierno descrito en el CTE según una letra que va desde el menos riguroso (A) al más riguroso (E).
- HIGROMETRÍA INTERIOR (es decir, humedad relativa en el interior de los espacios). Según CTE y EN ISO 13788:2002:
 - CLASE DE HIGROMETRÍA 5: Hr=70%. Espacios con gran producción de humedad tales como lavanderías y piscinas.
 - CLASE DE HIGROMETRÍA 4: Hr=62%. Espacios con alta producción de humedad tales como cocinas industriales, restaurantes, pabellones deportivos o duchas colectivas.
 - CLASE DE HIGROMETRÍA 3: Hr=55%. Espacios con baja producción de humedad tales como viviendas y los espacios no indicados anteriormente.



Guía del estándar Passivhaus

En la siguiente tabla se recogen los valores mínimos para los FACTORES DE TEMPERATURA establecidos en el CTE.

Tabla 1. Factor de la temperatura interior mínimo $f_{Rs \text{ min}}$ conforme CTE.

CATEGORÍA DEL ESPACIO	ZONAS A	ZONAS B	ZONAS C	ZONAS D	ZONAS E
Clase de higrometría 5	0,80	0,80	0,80	0,90	0,90
Clase de higrometría 4	0,66	0,66	0,69	0,75	0,78
Clase de higrometría 3 o inferior a 3	0,50	0,52	0,56	0,61	0,64

Fuente: TABLA 3.2 del CTE, www.codigotecnico.org.

Puede demostrarse que el valor del FACTOR DE TEMPERATURA de un PT integrado en fachada, asumiendo el flujo unidireccional del calor, depende de su transmitancia térmica conforme la siguiente expresión:

$$f_{Rs} = 1 - R_{si} \cdot U$$

En el CTE se propone la siguiente expresión para su cálculo, donde se mayor el valor de R_{si} para una mayor seguridad en la no existencia de condensaciones superficiales:

$$f_{Rs} = 1 - 0,25 \cdot U \rightarrow U_{\max} = 4 \cdot (1 - f_{Rs \text{ min}})$$

De esta manera, para una vivienda en Madrid (clima D3), la transmitancia de un PT integrado en fachada debe ser inferior a:

$$U_{\max} = 4 \cdot (1 - 0,61) = 1,56 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Lo que equivale a decir que prácticamente no es necesario ningún aislamiento en los PT integrados según normativa.

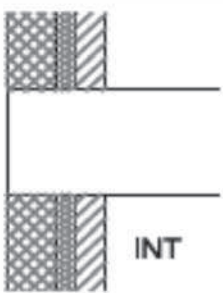
B. Puentes térmicos de encuentro

En el método simplificado no se tienen en cuenta las pérdidas térmicas de los PT de encuentro. Tan solo debe asegurarse la ausencia de condensaciones superficiales. En el Apéndice G (Apartado G 2.1.1.) se cita que para su cálculo es necesario aplicar las normas UNE EN ISO 10 211-1:1995 y UNE EN ISO 10 211-2:2002, es decir, la consideración del flujo bidimensional del calor. Esto implica un complejo cálculo con un soft-

ware que se explicará en el siguiente apartado, algo que no parece muy lógico para un método simplificado.

En dicho apartado se cita también la posibilidad de tomar como referencia las recomendaciones de los documentos reconocidos, en este caso, el Catálogo de Elementos Constructivos.⁶

Tabla 2. El color sombreado significa que no hay riesgo de condensación superficial para las distintas combinaciones de climas y resistencia térmica del aislamiento en los cerramientos conforme la figura.

FORJADO		R_{AT}	ZONA CLIMÁTICA				
			A	B	C	D	E
Fo 1.1 Enrasado con cara exterior de fachada		0,4				P	
		1,0					P
		1,6					P
		2,2					
		2,8					

Fuente: documento reconocido CATÁLOGO DE ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS de marzo del 2010. ONLINE en www.codigotecnico.org.

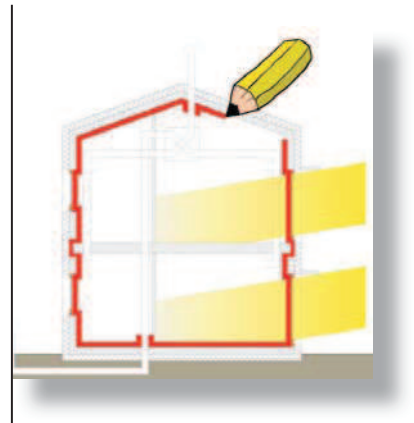
Atendiendo a la Tabla 2, un frente de forjado con losa de hormigón sin aislamiento alguno queda libre de riesgo de condensación superficial para cualquier clima si la resistencia térmica del aislamiento del cerramiento vertical es superior a $1 \text{ m}^2\text{K/W}$ (3-4 cm de espesor).

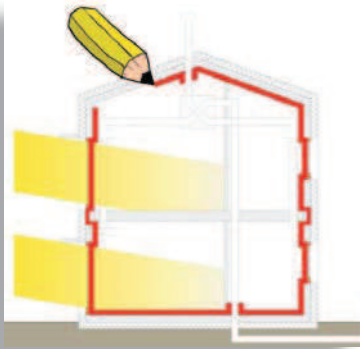
5.3.2. Método general

El método general de verificación del CTE-HE1 supone dibujar e introducir los datos del edificio en el software LIDER cuyos objetivos son calcular la demanda energética y compararla con un edificio de referencia, comprobar la ausencia de condensaciones y la permeabilidad de los huecos conforme normativa.

En LIDER se dibuja el área útil de las plantas y los espacios contenidos en ellas. Esta es una diferencia fundamental con respecto del modo

⁶ Para un mejor análisis de las condiciones para el establecimiento de estos valores mínimos consultar con el Apéndice G del CTE-HE1.





Guía del estándar Passivhaus

de calcular las pérdidas térmicas y tratar los PT de PHPP (programa de cálculo para edificios pasivos). En LIDER consideramos el área INTERIOR de los cerramientos, mientras que en PHPP introduciremos el EXTERIOR.

A. Puentes térmicos integrados en fachada

Tanto los contornos de huecos y lucernarios, como los pilares integrados en fachadas reciben en LIDER un tratamiento similar a los PT de encuentro, por lo que su cálculo se aborda en el siguiente apartado.

Sin embargo, en el caso de las cajas de persiana, «cuando formen parte integrante de la ventana y no estén empotradas en la fachada se considerarán en el apartado de cerramientos semitransparentes como parte del marco, a través de las correcciones oportunas de la transmitancia y el factor solar de dicho marco»⁷.

En caso de estar empotradas, podrán incluirse en el coeficiente lineal de pérdidas HUECO-VENTANA o considerarse cerramientos opacos unidimensionales, igual que los pilares integrados, si el usuario así lo considerase pertinente. Esto implica que al valor de la transmitancia se le aplicarán los valores límite establecidos en la TABLA 2.1

B. Puentes térmicos de encuentro

LIDER considera PT de encuentro los siguientes:

- FORJADO: o frente de forjado, es la unión de un forjado con una fachada, PT horizontal.
- ESQUINA HORIZONTAL SALIENTE: unión de una cubierta con fachada, PT horizontal.
- ESQUINA HORIZONTAL ENTRANTE: unión de un voladizo con fachada, PT horizontal.
- ESQUINA SALIENTE: unión de dos muros, PT vertical.
- ESQUINA ENTRANTE: unión de dos muros, PT vertical.

⁷ Documento reconocido de las Condiciones para la Aceptación de Programas Alternativos.

- HUECO DE VENTANA: contorno de hueco.
- PILAR; pilar integrado en fachada, PT vertical.
- UNIÓN SOLERA PARED EXTERIOR: contorno de la solera, PT horizontal.

Dado que es necesario dibujar el edificio, el programa es capaz de calcular la longitud de estas ocho tipologías de PT (excepto los pilares integrados, para cuya estimación se multiplica la altura de los espacios por el número de pilares integrados introducido por el propio usuario a nivel de espacio).

De cada uno de estos PT es necesario conocer dos valores:

- COEFICIENTE LINEAL DE PÉRDIDAS o ψ (W/mK): término corrector de las pérdidas térmicas a través de la envolvente por el efecto distorsionador del PT calculado conforme UNE EN ISO 10 211-1:1995 y/o UNE EN ISO 10 211-2:2002.
- FACTOR DE TEMPERATURA o f_{Rsi} : indicador del riesgo de condensación superficial, análogo a lo explicado en el párrafo A del apartado 5.3.1.

Vamos a ilustrar la obtención de estos dos valores a través del ejemplo con el que se comenzó este artículo: una esquina saliente.

Si nos olvidáramos del efecto distorsionador de la esquina y atendiéramos a los datos recogidos por LIDER, conoceríamos el área de los cerramientos que confluyen en dicha esquina vistos desde el interior. Por tanto:

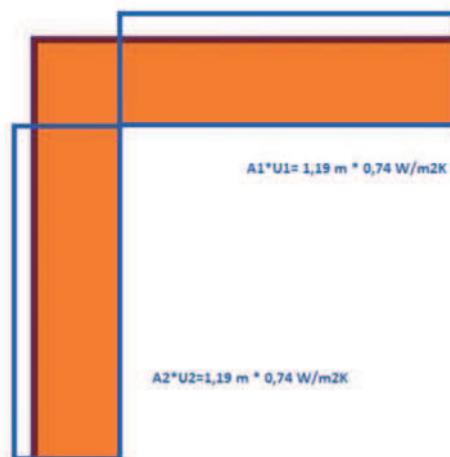
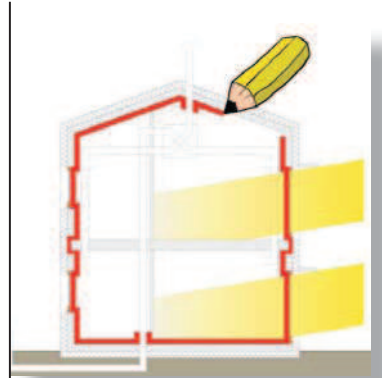
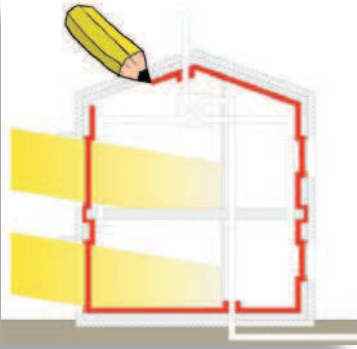


Figura 3. Cálculo de pérdidas energéticas con los cerramientos vistos desde el interior.





Un cálculo más exhaustivo exige el uso de un software⁸ capaz de evaluar el flujo de calor incluyendo el efecto distorsionador de la esquina, de forma que se obtiene el siguiente resultado:

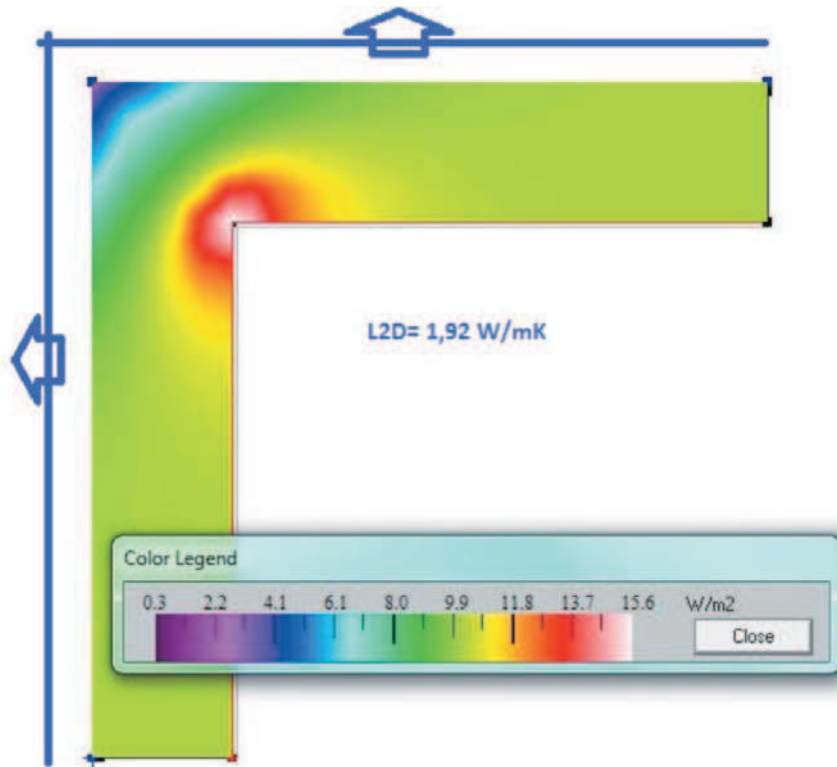


Figura 4. Valores del flujo de calor en los distintos puntos del cerramiento. En azul, cálculo realizado por el software del flujo total de calor por K y m lineal de PT.

El valor del COEFICIENTE LINEAL DE PÉRDIDAS es la diferencia entre las pérdidas obtenidas con el software y las calculadas asumiendo el flujo unidireccional de calor. Es decir:

$$\Psi = L2D - A1 \cdot U1 - A2 \cdot U2 = 1,92 \frac{W}{mK} - 2 \cdot 1,19 m \cdot 0,74 \frac{W}{m^2K} = 0,16 \frac{W}{mK}$$

- Ψ : representa la cantidad de W extra que se fugan por esta esquina por cada grado centígrado de diferencia entre la temperatura exterior y la interior, con respecto al cálculo realizado con las hipótesis de flujo unidireccional de calor.

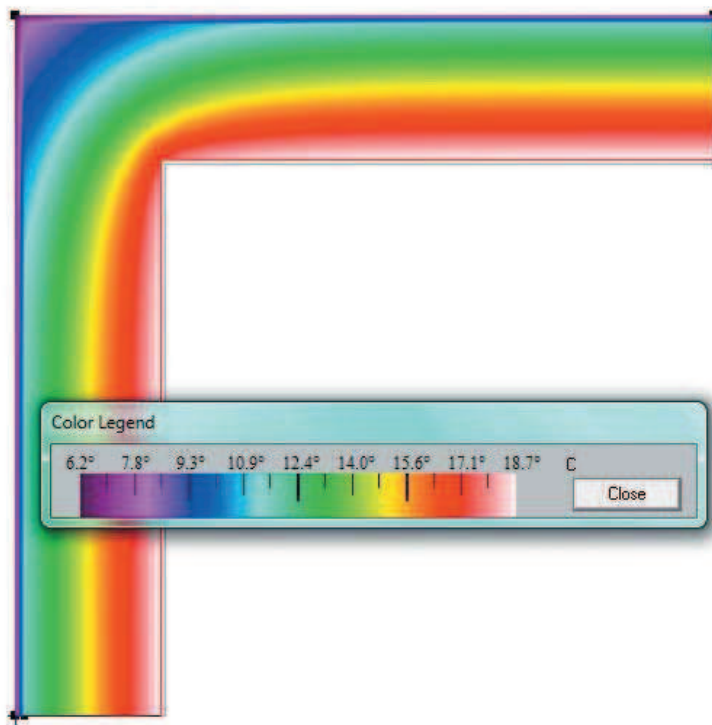
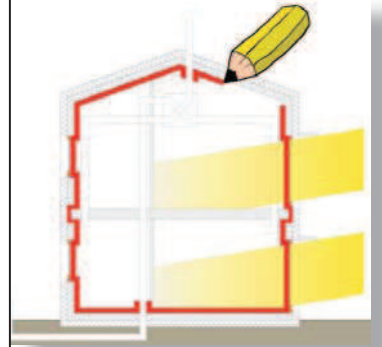


Figura 5. Valor de las temperaturas en los cerramientos para una temperatura exterior estable de 6,2 °C y 20 °C en el interior. La temperatura superficial interior de la esquina es de 17,1 °C.
Fuente: Elaboración propia.

Seguidamente, para calcular el FACTOR DE TEMPERATURA tomaremos el valor de la temperatura más baja en la cara caliente del cerramiento, en este caso 17,1 °C en la esquina. Después procedemos con el cálculo explicado en el párrafo A del apartado 5.3.1.

$$fR_{si} = \frac{\theta_{si} - \theta_e}{\theta_i - \theta_e} = \frac{17,1^{\circ}\text{C} - 6,2^{\circ}\text{C}}{20^{\circ}\text{C} - 6,2^{\circ}\text{C}} = 0,78$$

Para simplificar este procedimiento, en LIDER se asignan una serie de valores por defecto. En el diálogo de configuración correspondiente, es posible acceder a varias soluciones constructivas un tanto difusas, donde los valores de ψ y f_{Rsi} dependen fundamentalmente de la colocación del aislamiento, pero no se dan referencias de espesores ni materiales.



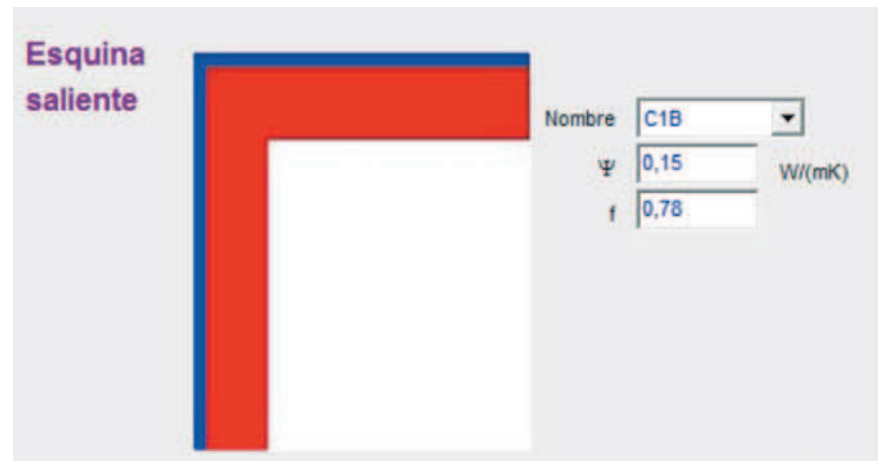
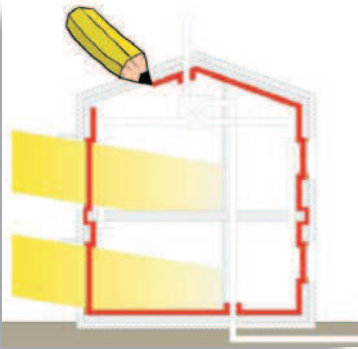


Figura 6. Diálogo de configuración de LIDER (Clima B) para un PT de esquina saliente. Valores por defecto para un aislamiento exterior (en azul) y fábrica de ladrillo interior (en rojo) sin detalles de espesores.

Merece especial atención el hecho de que en soluciones constructivas con aislamiento exterior conseguimos FACTORES DE TEMPERATURA superiores y, por lo tanto, menor riesgo de condensación.

Finalmente y según se relata en los anexos del documento reconocido «Condiciones de Aceptación de Programas Alternativos», LIDER comparará las demandas de calefacción y refrigeración del edificio introducido con las de un edificio de referencia con la misma geometría que el objeto, pero con una envolvente cumpliendo los mínimos especificados por la normativa. Los valores asignados a los PT de ese edificio de referencia se detallan en la siguiente tabla:

Tabla 3. Coeficiente lineal de pérdidas de referencia de puentes térmicos Ψ_{ref} (W/mK) dependiendo del clima.

CASO		ZONA CLIMÁTICA				
		A	B	C	D	E
Encuentros de forjados con fachadas	Frente de forjado	7,30	7,30	7,30	7,30	7,30
	Forjado de cubierta	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50
	Forjado de suelo exterior	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25
Encuentros entre cerramientos verticales	Esquina saliente	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40
	Esquina entrante	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18
Hueco ventana		0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
Pilar		0,08	0,08	0,08	0,08	0,08
Unión entre solera en contacto con el terreno y pared exterior		0,08	0,08	0,08	0,08	0,08

Fuente: Anexos del documento reconocido «Condiciones para la Aceptación de Programas Alternativos».

Llama la atención que los valores por defecto para todos los climas no presentan condensaciones superficiales y las pérdidas energéticas así calculadas son inferiores a las del edificio de referencia. Esto significa que no prestar atención a los PT en el software no tiene ningún efecto negativo en la justificación del CTE-HE1.

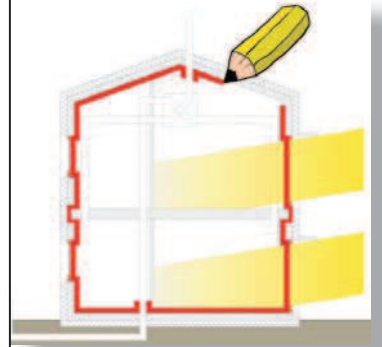
5.4. TRATAMIENTO DE LOS PUENTES TÉRMICOS EN EL PHPP

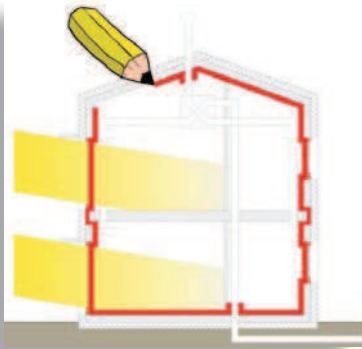
La filosofía del Passivhaus es notablemente diferente respecto de la del CTE-HE1. Si bien ambos dirigen sus esfuerzos hacia la planificación de un edificio energéticamente eficiente, el Passivhaus no solo justifica una serie de premisas, sino que busca que el edificio CONSTRUIDO tenga un consumo en calefacción inferior a los 15 kWh/m²a y 120 kWh/m²a de energía primaria total.

Uno de los puntos más importantes a tener en cuenta en el estándar Passivhaus, base de muchas de las decisiones proyectuales y criterios de ejecución es el diseño de la piel exterior, sobre todo a intentar garantizar o, en su defecto, minimizar al máximo el efecto pernicioso de los puentes térmicos. Así, la premisa básica para un buen diseño *Passivhaus* es intentar construir un edificio «libre de puentes térmicos», hasta el punto que la minimización de los mismos y la resolución práctica en la obra llevan al proyectista a enfocar la mayor parte de sus esfuerzos especializados en estas tareas.

La regla de oro, base de ese buen diseño es, como se comentó en el capítulo anterior, el seguimiento de todos los cerramientos del edificio, su continuidad tanto en el interior de cada fachada como en todos los encuentros con pilares y forjados, ventanas y huecos de persiana, esquinas y enganches de elementos exteriores, resolución de salientes, aleros, balcones y, sobre todo, la continuidad aislante y buena construcción en los encuentros entre fachada y suelo, o fachada y cubierta, o distintos tipos de fachada entre sí.

De este modo, el proyectista especializado estudia concienzudamente el contorno del edificio, en planta y en sección, procurando no dejar ningún punto conflictivo a la indeterminación o a la improvisación, garantizando de este modo la calidad de la piel exterior del edificio, la falta de puntos con incidencias en el diseño y la facilidad de ejecución.





Guía del estándar Passivhaus

El programa PHPP y su cumplimentación son pues un apoyo, no un fin en sí mismo. Los resultados nos revelarán que un aislamiento continuo exterior en un frente de forjado supone un ahorro de $0,43 \text{ W/mK}^9$ con respecto al de un frente sin aislar. Para un perímetro de 50 m, el ahorro es equivalente a incrementar 2 cm el espesor del aislamiento de un muro exterior de 150 m^2 (de 4 cm a 6 cm en un clima D). El hecho de no tratar los PT es una incoherencia en la eficiencia energética, pero sobre todo una incoherencia económica para un diseñador Passivhaus. La capa de aislamiento debe ser lo más uniforme posible en toda la envolvente del edificio, y para ello debe pensarse en soluciones constructivas adecuadas.

En el programa PHPP se cuantifica el área exterior de los cerramientos, como ya se ha indicado, si bien se provee de un conversor del coeficiente lineal de pérdidas con referencias exterior-interior. La consideración del área exterior de los cerramientos redunda en una mayor simplicidad en el cálculo y seguridad en las estimaciones tal y como se expondrá en los siguientes apartados.

5.4.1. Puentes térmicos integrados en fachada

En el PHPP se puede aceptar la hipótesis de flujo unidireccional de calor para los PT integrados en fachada. De esta manera, en caso de existir pilares integrados, éstos podrían introducirse como un cerramiento adicional o haciendo la media de la transmitancia con el resto del cerramiento, tal y como se procede con los entramados ligeros de madera.

En caso de existir cajas de persiana empotradas (poco recomendable desde el punto de vista de la estanqueidad del edificio), pueden considerarse así mismo como un cerramiento adicional o incluirlos en la transmitancia de los marcos.

Cabe destacar la importancia que cobra en el Passivhaus la calidad de ventanas y lucernarios, no solo desde el punto de vista de la estanqueidad y la baja transmitancia de vidrios y marcos, sino de la propia junta entre ambos y las deficiencias de la instalación.

En PHPP encontremos un coeficiente lineal de pérdidas ψ_{spacer} que tiene en cuenta las pérdidas debidas a la junta del marco con el vidrio (con valores por defecto de $0,05 \text{ W/mK}$), además de un $\psi_{\text{installation}}$ que reco-

⁹ Valores por defecto de LIDER

ge las posibles imperfecciones en la instalación del marco de ventana (con valores por defecto de 0,01 W/mK).

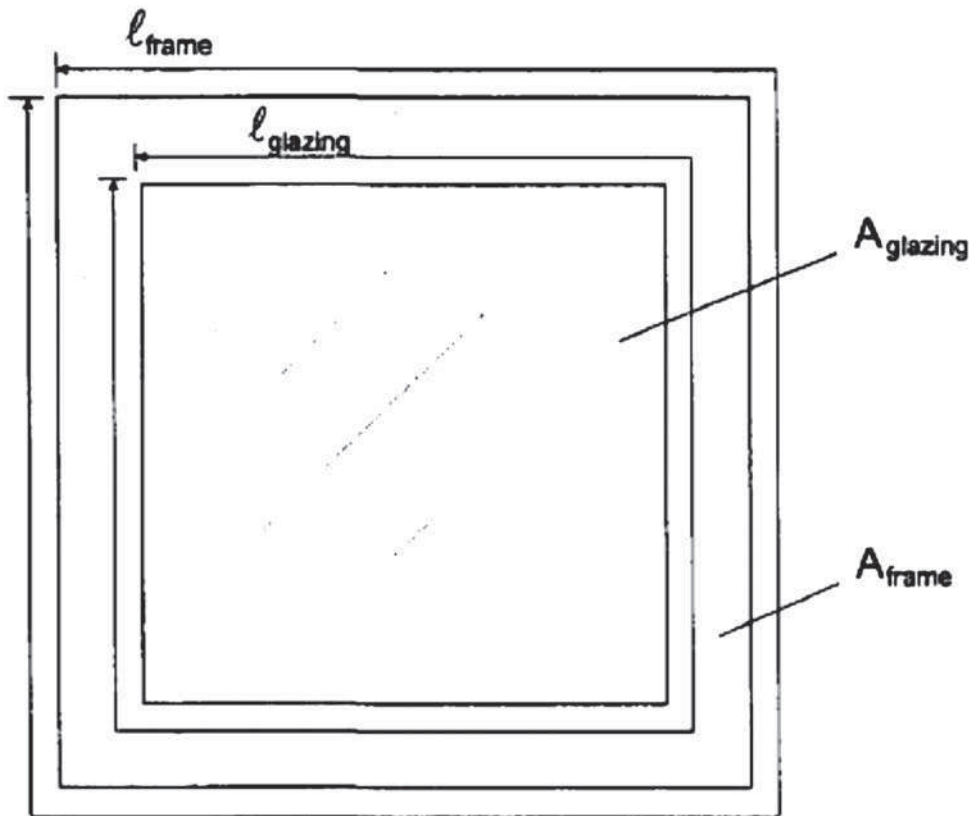
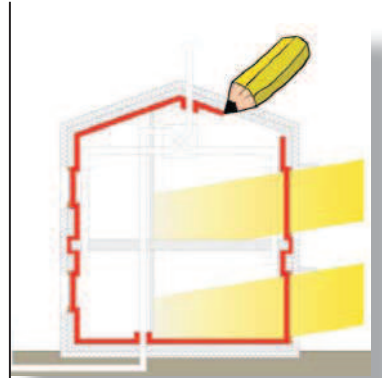


Figura 7. Ubicación de los puentes térmicos en la junta vidrio-marco e instalación en ventanas. l_{glazing} y el l_{frame} que es necesario estimar e introducir en el PHPP para el cálculo de las pérdidas energéticas correspondientes.

Según estudios realizados por el PHI, el PT generado por dos bandas de aluminio de 0,5 mm de espesor y 1 m de largo en una junta de vidrio con marco es equivalente a las pérdidas térmicas a través de un 15,5 m² de vidrio (calidad PH). Este ejemplo ilustra su importancia cuantitativa.

5.4.2. Puentes térmicos de encuentro

En primer lugar vamos a analizar cómo afecta la referencia del área exterior de los cerramientos al cálculo del coeficiente lineal de pérdidas en un PT.



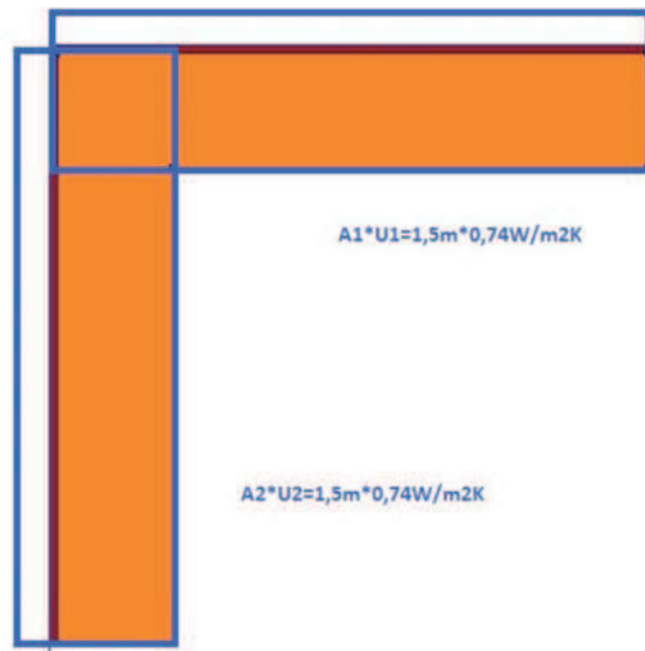
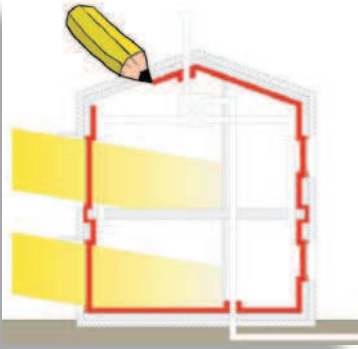


Figura 8. Cálculo de pérdidas energéticas con los cerramientos vistos desde el exterior.

Procediendo de igual manera que en el párrafo B del apartado 5.3.2, pero con referencia a las áreas exteriores de los cerramientos tenemos lo siguiente:

$$\Psi = L2D - A1 \cdot U1 - A2 \cdot U2 = 1,92 \frac{W}{mK} - 2 \cdot 1,5 m \cdot 0,74 \frac{W}{m2K} = -0,3 \frac{W}{mK}$$

Este valor negativo del coeficiente lineal de pérdidas significa que cuantificar la transmisión térmica con el área exterior del cerramiento es suponer un flujo de calor superior al estimado con el cálculo 2D. De este modo, además de efectuar unos cálculos menos complicados, estamos seguros de su resultado, pues tenemos un margen de seguridad.

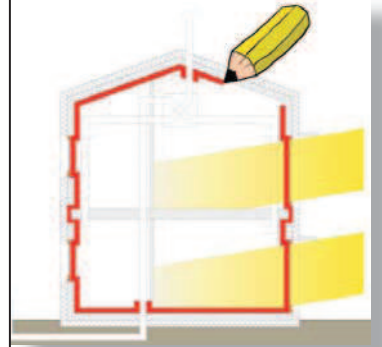
Sin embargo, esta conclusión no es válida en el caso de las esquinas entrantes, donde el efecto es justo el contrario. A pesar de que las esquinas entrantes no sean habituales en diseños pasivos para mejorar el coeficiente de forma del edificio, es recomendable tener este efecto en cuenta, bien sea recurriendo a un cálculo 2D del flujo de calor o mayorando el área de los cerramientos en cuestión añadiendo el espesor del muro, tal y como hacemos en el caso de las esquinas salientes al considerar el área exterior.

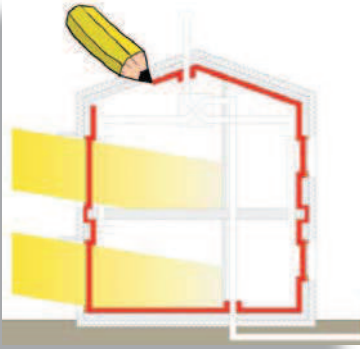
En el estándar Passivhaus se recomienda seguir los criterios de «construcción libre de puentes térmicos» (PHI 1999/5). Únicamente aquellos puentes térmicos cuyo coeficiente lineal de pérdidas supere los $0,01 \text{ W/mK}$ se incluirán en el cálculo de PHPP y su estimación se realizará tal y como se ha explicado en el presente artículo, con referencia al área exterior de los cerramientos.

Finalmente, merece una mención especial el PT del perímetro de la solera, puesto que en este caso debemos tener en cuenta el comportamiento térmico del suelo alrededor del edificio. El programa PHPP dedica una hoja de cálculo para la correcta estimación de este valor dependiendo del tipo de solera o forjado y las características del terreno.

5.5. CONCLUSIONES

- El CTE-HE1 supone un avance en la cuantificación de las pérdidas a través de los PT y la eliminación de las condensaciones y proliferación de moho en los mismos, sin embargo la exigencia se demuestra insuficiente desde el punto de vista de la eficiencia energética y dista mucho de lo exigible a un edificio Passivhaus.
- En el PHPP no se compara al edificio con otro de referencia. Se busca un valor absoluto, los $15 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ en calefacción y $120 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ de energía primaria total; para lograrlo tanto a nivel de proyecto como de edificio construido, es imprescindible reducir el efecto de los PT al mínimo. Esto significa, no sólo añadir la capa de aislamiento, sino pensar en soluciones constructivas adecuadas que garanticen la continuidad de la capa aislante.
- Como se ha visto, una serie de consideraciones básicas en los PT permiten justificar en España la ausencia de condensaciones y formación de moho conforme CTE-HE1. Estas hipótesis de cálculo están vinculadas al documento de salubridad CTE-HS y en concreto a la Calidad del Aire Interior (CTE-HS3). Una mejora en el factor de temperatura de cerramientos y los PT permite asegurar la ausencia de condensaciones, incluso incrementando las condiciones puntuales de higroscopicidad en el interior de los espacios, de forma que sea posible reducir el caudal nominal de ventilación (recuperando el calor si se estimara conveniente). De este modo mejoramos la eficiencia del edificio también desde el punto de vista de las pérdidas por ventilación.



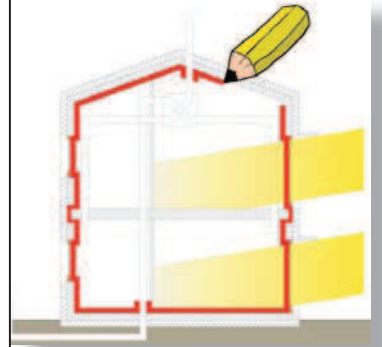


Guía del estándar Passivhaus

- Una mejora en el factor de temperatura de cerramientos y los PT permite asegurar la ausencia de condensaciones, incluso incrementando las condiciones puntuales de higroscopicidad en el interior de los espacios, de forma que sea posible reducir el caudal nominal de ventilación (recuperando el calor si se estimara conveniente). De este modo mejoramos la eficiencia del edificio también desde el punto de vista de las pérdidas por ventilación.
- Existen una serie de diferencias en la consideración de las pérdidas a través de los PT dependiendo de la cuantificación interior o exterior del área de los cerramientos. Hacerlo desde el exterior simplifica los cálculos de las pérdidas y aumenta los valores ligeramente, de forma que nos permite estar más seguros de nuestras estimaciones.

6

LAS VENTANAS Y LA GRAN FUENTE DE CALEFACCIÓN DE LOS EDIFICIOS: EL SOL



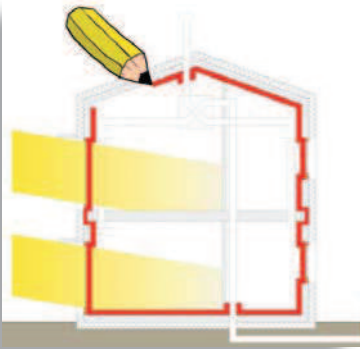
6.1. INTRODUCCIÓN

Realmente, si fuéramos capaces de aprovechar con efectividad la energía que nos llega del sol, no nos haría falta ninguna fuente adicional de energía. Esto que parece obvio por tan comentado, tiene una importancia fundamental que a veces olvidamos: el correcto aprovechamiento del sol como fuente de energía eléctrica fotovoltaica es una de las posibilidades más seguras que en un futuro próximo tiene la humanidad para salir de la terrible crisis energética a la que se va a enfrentar.

El aprovechamiento térmico es la otra gran vertiente, de forma indirecta a partir de colectores solares térmicos de diversas clases en los que se pueden conseguir fluidos a muy diferentes niveles térmicos, desde baja temperatura para calefacción, hasta muy alto nivel para procesos industriales o producción de energía eléctrica con ciclos de generación de potencia adecuados.

En este capítulo nos vamos a centrar en el aprovechamiento directo de la energía solar para el calentamiento de edificios. Calentar con energía solar es fácil y cualquiera sabe hacerlo: sólo hay que dejar que el sol entre a través de la ventana.

Las propiedades naturales del vidrio dejan pasar la radiación solar visible (térmica), de longitud de onda menor de 4 micras, pero bloquean la radiación de onda larga, infrarroja, emitida por el interior del edificio, con lo que el desequilibrio energético producido supone el aumento de la temperatura interior, lo que habitualmente denominamos efecto invernadero. El CO_2 y resto de gases de efecto invernadero presentes en la atmósfera se comportan de forma similar a lo que se ha explicado, produciendo por tanto el mismo efecto que a nivel global es perjudicial por el aumento de temperatura que supone.



De forma sencilla, pues, para aprovechar el sol para el calentamiento del edificio hay que introducir toda la energía posible, y evitar que se pierda.

Respecto a pérdidas de calor, como ya hemos dicho, la radiación infrarroja es bloqueada por el propio vidrio, pero será necesario evitar las pérdidas de calor por conducción. Y ese es el problema fundamental del vidrio: su elevada conductividad térmica que implica que las ventanas sean normalmente el puente térmico más acusado en cualquier edificio. Una cuestión aparte son las pérdidas de calor a través de los marcos o carpinterías, que pueden ser elevadas en el caso de utilización de aluminio sin ningún tipo de protección.

En el calentamiento solar directo a través de las ventanas, lo más difícil va a ser un dimensionamiento adecuado de estos elementos para equilibrar la ganancia solar con las pérdidas térmicas.

En climas como los predominantes en el sur de Europa el diseño bioclimático debe preocuparse también del excesivo calentamiento en verano. Convendrá de esta forma tratar las ventanas de forma global, y hacer dependiente su diseño de las condiciones meteorológicas locales.

No es objeto de este monográfico el tema de la iluminación natural, pero no debe ser olvidado, puesto que supone una estrategia muy efectiva y que permite también un gran ahorro energético, además de un aumento del confort y de la calidad de vida.

Como norma general debería intentarse que la mayoría de las estancias activas de la vivienda poseyeran iluminación natural evitando, por supuesto, deslumbramientos.

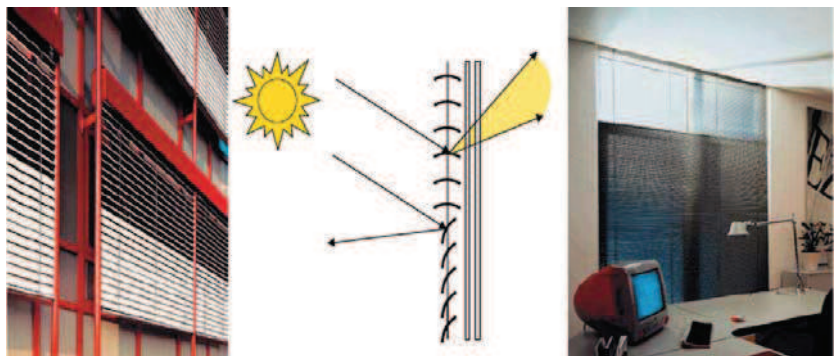


Figura 1. Sistemas de persianas venecianas con transporte de luz natural, exterior o interior.

Fuente: WAREMA Renkhoff GmbH.

Existen en la actualidad sistemas de claraboyas y tubos de luz que lo permiten de forma muy efectiva, o incluso persianas de orientación variable que permiten llevar la luz al interior de la vivienda.

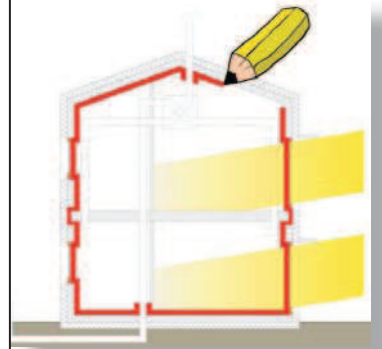


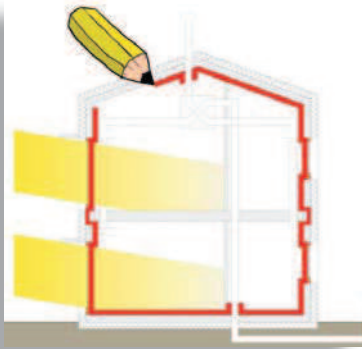
Figura 2. Sistema comercial de tubo de luz para iluminación de espacios interiores.
Fuente: Sunlux.

Como ya se sabe, en el caso que se pretenda sólo iluminación la mejor orientación es la norte, pero puede incluso tratarse de optimizarse en función de la utilización de la vivienda: orientar las habitaciones de forma que el área de desayuno y, a ser posible, los dormitorios estén orientados al este. La cocina y el comedor hacia el sur. Y finalmente la zona donde se cena hacia el oeste.

6.2. ALGUNAS DEFINICIONES NECESARIAS SOBRE VENTANAS

Factor Solar: coeficiente de calentamiento por ganancia solar. Es el porcentaje de la radiación solar incidente que atraviesa la ventana, o que es absorbida y posteriormente emitida hacia el interior. Cuanto más factor solar, más calor del sol se transmite al interior.

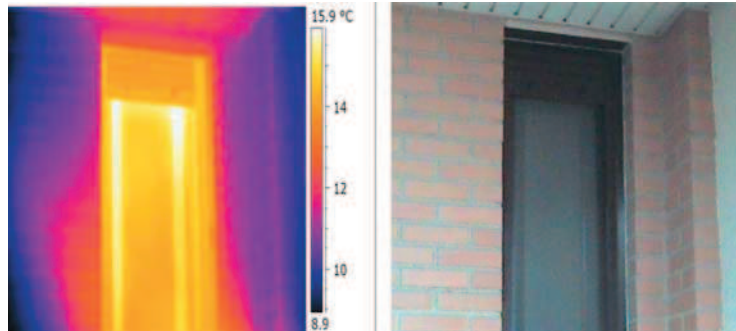




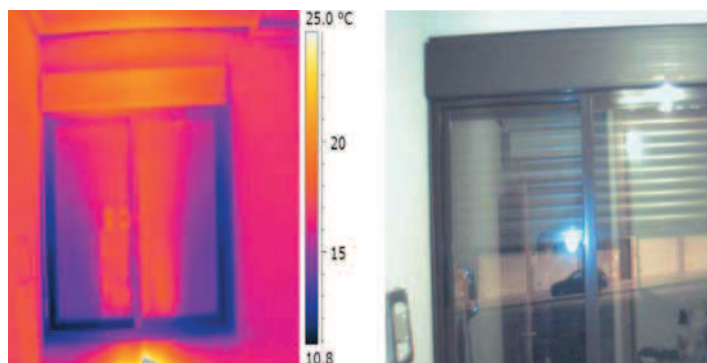
Guía del estándar Passivhaus

TV (Transmitancia en el visible): porcentaje de radiación visible (una parte de la radiación térmica total) que atraviesa la ventana.

U (Coeficiente global de transmisión de calor): respecto a este parámetro hay que diferenciar entre la U del cristal y el de la ventana entera, que incluye el efecto de la carpintería y que también juega un papel muy importante. Para cálculos muy precisos deberían ser tenidos en cuenta ambos. En este sentido hay que hablar de los famosos marcos con rotura de puente térmico. Es muy normal cuando se mira una fachada con una cámara termográfica el darse cuenta fácilmente de que los mayores puentes térmicos de la fachada lo constituyen las propias ventanas, primero sobre todo a causa de la elevada conductividad del cristal, pero luego también por culpa de la propia carpintería. A priori los marcos de PVC y de madera serían favorables respecto a los de aluminio. En este último tipo la única solución posible es colocar en el interior aislamientos muy efectivos, y utilizar el aluminio únicamente como acabado exterior. Por último decir que las carpinterías de tipo corredera deberían evitarse en general por su falta de hermeticidad, fundamental para el estándar *Passivhaus*.



Fotografía 1. Termografía infrarroja de una lámina de vidrio de mala calidad mostrando una temperatura superficial exterior excesivamente elevada en condiciones de calefacción interior.



Fotografía 2. Termografía infrarroja de una ventana de aluminio de carpintería de muy mala calidad mostrando una temperatura superficial interior muy baja.

6.3. CARACTERÍSTICAS DE LAS VENTANAS ACTUALES

Como se ha indicado, las pérdidas de calor a través de las ventanas son proporcionales a su coeficiente U, por lo que en general es conveniente reducir el valor de U en todas las orientaciones en las que se coloquen ventanas.

Tabla 1. Ejemplos de valores de coeficiente U para ventanas de diferentes características.

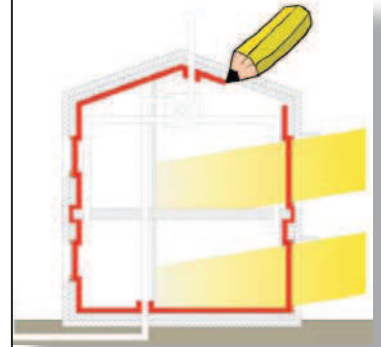
DESCRIPCIÓN	COEFICIENTE U (W/m ² K)
Panel simple	5,7
Panel doble	2,8
Panel triple	1,9
Panel triple sellado con revestimiento de baja emisividad	1,4
Además relleno de argón	1,2
Además con dos revestimientos de baja emisividad	0,8
Ventana de vacío (alto vacío)	0,5
20 mm de Aerogel (vacío reducido)	0,3

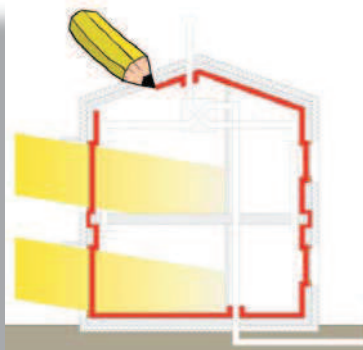
Fuente: «Passive-On Project».

Sin embargo, por otra parte, al reducir el coeficiente U suele reducirse la radiación que pasa a través de la ventana y consecuentemente la ganancia térmica solar será menor.

La mejora del comportamiento térmico de las ventanas se consigue a través de la combinación de los siguientes factores de diseño:

1. Incrementar el número de láminas. La mejor solución suele ser dos, pero se puede llegar hasta tres o incluso cuatro.
2. Ventanas rellenas con diferentes tipos de gases.
3. Ventanas con vacío. Se reduce la transmisión de calor a través de la evacuación del espacio entre paneles a una presión sobre 0,01 Pa.
4. Aerogel. El aerogel es un material interesante, con un tamaño medio de célula inferior al recorrido medio de las moléculas de aire. El resultado es un valor de conductividad térmica extremadamente bajo. Sin embargo, es caro y no completamente transparente.
5. Diferentes tipos de recubrimientos de baja emisividad.





1. Incremento del número de láminas

Respecto al primer factor de diseño, el incremento del número de láminas, lo que busca es el aprovechamiento del efecto aislante de cualquier gas en reposo. Efectivamente, los mejores aislantes térmicos son los gases, en general con conductividades térmicas inferiores a $0,04 \text{ W/m}^2\text{K}$. Pero para conseguir este efecto aislante debemos asegurarnos de que el gas esté en reposo, puesto que en cualquier fluido al producirse una variación de temperatura por calentamiento o enfriamiento tiene lugar una variación de densidad, y en consecuencia en presencia de un campo gravitatorio, el fluido tenderá a moverse en dirección vertical, produciéndose lo que se denomina transmisión de calor por convección natural.

Para evitar dicho desplazamiento lo que se hace es atrapar el gas en un espacio muy reducido, en el que la propia viscosidad del fluido al entrar en fricción con la superficie de la cámara, impida su movimiento. Dada la pequeña viscosidad de los gases, el espacio de la cámara de la ventana deberá ser muy pequeño, de lo contrario el gas podrá moverse libremente y por tanto transmitir calor por convección. En este sentido es conveniente refutar la idea muy extendida de que cuanto mayor sea el espesor de la cámara de aire del cristal, mejor. Esto sí que puede ser cierto respecto a propiedades de aislamiento acústico, pero no para el térmico.

Tabla 2. Resistencia térmica equivalente de un hueco de aire en función de su espesor.

ESPESOR (mm)	RESISTENCIA TÉRMICA ($\text{m}^2 \text{ K W}^{-1}$)
5	0,106
10	0,141
20	0,156
25	0,161
30	0,166
40	0,174
50	0,178

Fuente: WUFI® Programa para calcular la transmisión de calor y de humedad en elementos de edificación.

El Gráfico 1 muestra los valores de resistencia térmica ($1/U$) de la Tabla 2.

Claramente aparece un efecto asintótico. Esto muestra una diferencia significativa con la tendencia que se podría esperar a partir de con-

ducción pura. Sólo para huecos muy pequeños (menores de 10 mm), la tendencia es aproximadamente lineal, lo que confirma el predominio de la conducción pura en el aire. Para cavidades de mayor espesor, la tendencia muestra la forma típica de la convección, provocada pues por el movimiento natural del aire.

Como se ha demostrado pues, no se puede comparar el comportamiento de un hueco relleno de aire con un material aislante.

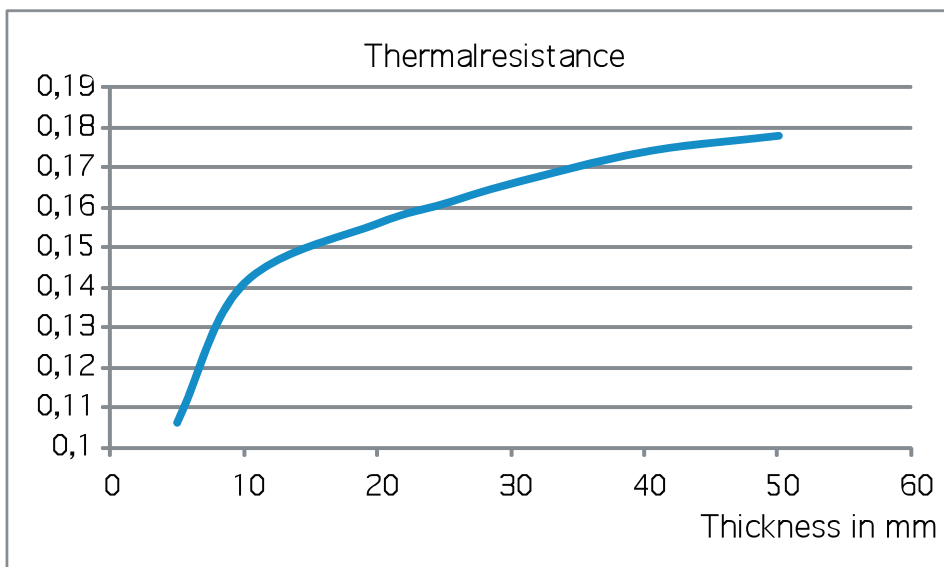
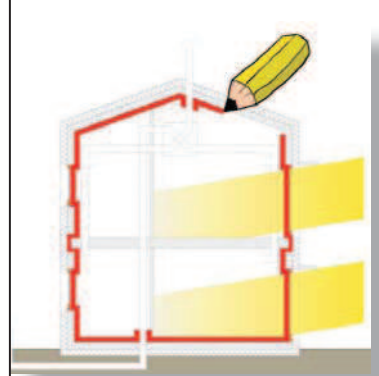
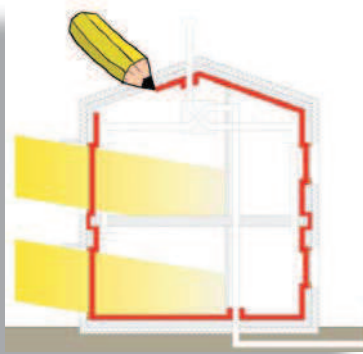


Gráfico 1. Resistencia térmica en función del espesor.
Fuente: WUFI® Programa para calcular la transmisión de calor y de humedad en elementos de edificación.

2. Ventanas con vacío

En transmisión de calor, la conducción y convección van indisolublemente asociadas a la existencia de materia. Así pues, para evitar ambas formas de transferencia de calor, el método más sencillo parece realizar vacío en el interior de la ventana, con lo que sólo quedaría como modo de transmisión de calor la propia radiación, que al menos en el infrarrojo sería ciertamente reducida debido al comportamiento opaco de los cristales respecto a la radiación de esta longitud de onda.

Desgraciadamente la realización y sobre todo el mantenimiento del vacío en el interior de la cámara de la ventana es una tarea muy complicada que además de encarecerla, con el tiempo presentará un deterioro de comportamiento, puesto que es ciertamente imposible asegurar el elevado nivel de vacío necesario.



3. Ventanas rellenas con diferentes tipos de gases

Como se ha indicado, el efecto aislante de la cámara de la ventana depende directamente del comportamiento del gas que contiene. La conductividad térmica de un gas en reposo depende de su masa molecular: cuanto más pesa la molécula de gas menos calor conduce. Esta es la razón por la que ha sido práctica común rellenar los aislamientos o las propias ventanas con gases de mayor peso molecular que el aire. Hasta hace algún tiempo fue común la utilización de CFCs para aislamientos de frigoríficos, prohibido en la actualidad por su efecto sobre la capa de ozono. Las ventanas de muy altas prestaciones se rellenan de forma habitual con argón, gas inerte de elevado peso molecular.

Tabla 3. Masa molecular y conductividad térmica de diversos gases.

GAS EN REPOSO	MASA MOLECULAR (kg/kmol)	CONDUCTIVIDAD TÉRMICA (W/mK)
Aire	29	0,025
Argón	40	0,018
Xenón	131	0,0051

4. Aerogel

Como se ha justificado en los puntos anteriores, hay que asegurar que el gas dentro de la cámara se encuentre absolutamente en reposo, con lo que la mejor solución sería la utilización de un material aislante en el interior de la propia ventana. Pero obviamente este material debería ser transparente a la radiación visible. Ambas ventajas las presenta el aerogel, un material aislante basado en silicatos. Básicamente es aire al 99%. Su conductividad térmica está en el rango de 0,011 a 0,013 $\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$, con lo que además se muestra como prácticamente el mejor aislamiento térmico existente en la actualidad. Hasta hace algún tiempo su utilización se limitaba a la industria aeroespacial, pero poco a poco se está introduciendo en aplicaciones más cercanas.

5. Recubrimientos de baja emisividad

Las pérdidas de calor por radiación dependen tanto de la temperatura como de la emisividad.

A partir de la expresión simplificada siguiente de las pérdidas de calor por radiación, válida para casos en que el objeto pueda considerarse de dimensiones mucho más reducidas que su entorno:

$$Q_{\text{radiación}} = A \cdot \varepsilon \cdot \sigma \cdot (T^4 - T_{\text{refl}}^4)$$

Donde:

A: área de intercambio (m^2).

ε : emisividad de la superficie de la lámina de la ventana.

σ : constante de Stephan-Boltzmann, de valor $5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$.

T: temperatura superficial de la ventana (K).

T_{refl} : temperatura aparente reflejada (K).

En esta expresión se puede apreciar el efecto lineal que tiene el valor de emisividad sobre las pérdidas de calor por radiación.

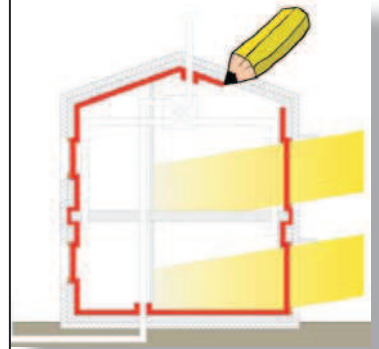
Según diversos fabricantes, las principales estrategias para lograr revestimientos con baja emisividad en el infrarrojo se basan en el apilamiento de capas metálicas y dieléctricas funcionales, incluso con el desarrollo de nano-estructuras capaces de alcanzar emisividades ultra-bajas.

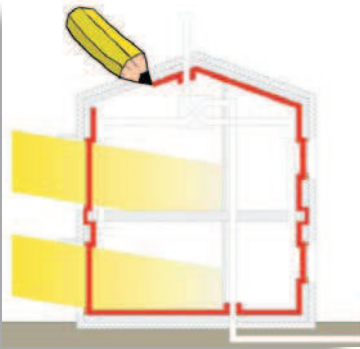
Estos recubrimientos deben presentar un comportamiento selectivo con la radiación: deberán ser transparentes a longitudes de onda corta correspondiente al visible, pero presentar baja emisividad en el rango del infrarrojo.

Los recubrimientos de baja emisividad se pueden aplicar sobre las dos caras de las láminas de las ventanas.

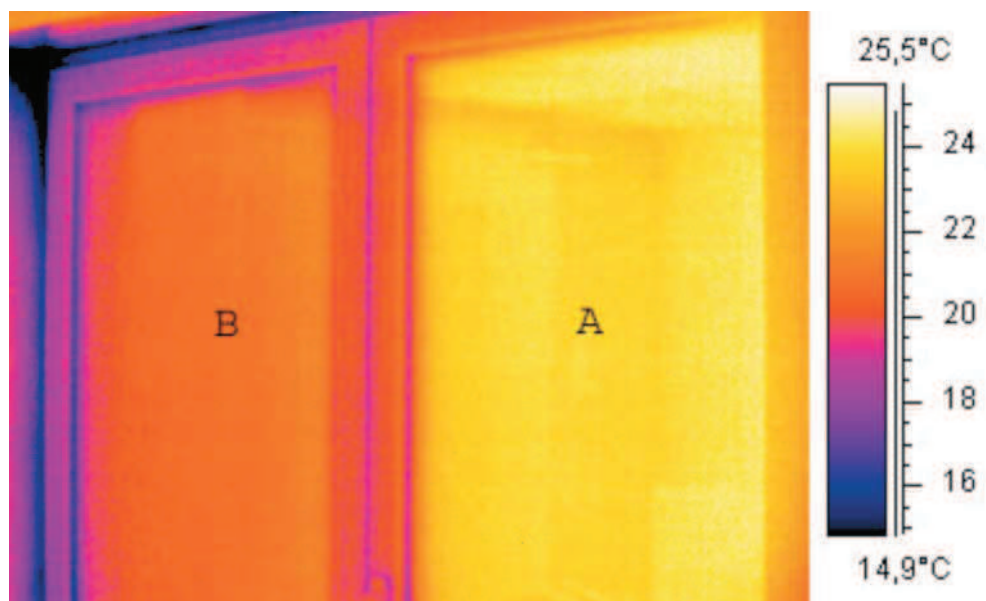
En aplicaciones de aislamiento térmico para calefacción, el recubrimiento de baja emisividad debería ser colocado en las superficies de las láminas que dan al exterior, para de esta forma reducir las pérdidas de calor hacia el entorno.

Sin embargo, en aquellos casos donde el problema sea de ganancia de calor en verano, para reducir este aporte de calor, el mencionado recubrimiento de baja emisividad debería encontrarse también en la superficie de las láminas que dan hacia el interior de la vivienda.





El comportamiento de este tipo de cristales de baja emisividad puede ser convenientemente caracterizado mediante una cámara infrarroja. A partir de dos cristales calentados hasta una misma temperatura, aquel que presente el revestimiento de baja emisividad irradiará menor radiación infrarroja, por lo que aparentemente en una termografía infrarroja aparecerá como más frío. De esta manera la cámara infrarroja podría ser considerada un elemento muy útil de control de recepción de este tipo de materiales, puesto que en el visible este tipo de ventanas no se diferencian en nada respecto a las que montan un vidrio común.



Fotografía 3. Termografía de la superficie de dos láminas de ventana: la lámina (B) muestra menos temperatura, por tanto presenta menos pérdidas de calor que la (A) debido probablemente a: problemas en el recubrimiento de baja emisividad, rotura de una de las dos láminas dobles, fuga del gas argón de relleno.

Fuente: F. Pinno, Brandenburg University of Applied Sciences, Alemania.

6.4. ESTRATEGIAS DE DISEÑO BIOCLIMÁTICO EN FUNCIÓN DE LAS CONDICIONES CLIMÁTICAS LOCALES

Como ya se ha comentado, es necesario un compromiso entre el aporte de luz y calor natural en el periodo invernal, tratando de evitar el excesivo sobrecalentamiento en verano, lo que puede suponer que la solución óptima energéticamente no lo sea respectivamente para cada uno de los periodos anteriores.

De forma general deberían seguirse los siguientes criterios:

Para climas fríos:

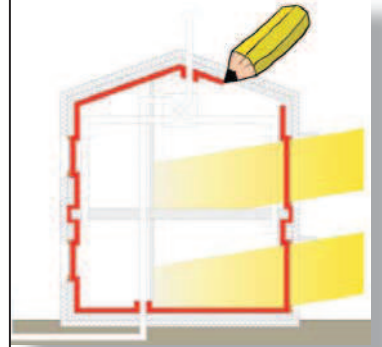
- Sería necesario reducir los acristalamientos en las orientaciones norte, este y oeste, lo justo para iluminación natural. La mayor parte del acristalamiento debería estar por tanto orientado al sur, todavía incluso más si se hace uso de la inercia (muros masivos) para el almacenamiento de energía térmica que será desprendida al interior de la vivienda durante el periodo nocturno.
- El acristalamiento a cara sur deberá tener un factor solar en el rango 0,3-0,6.
- El coeficiente global de transmisión de calor, U , en general menor de 0,35.
- Finalmente la transmitancia al visible, TV , debería ser ciertamente muy alta.

Para un clima intermedio:

- Factor Solar en el rango 0,4-0,55.
- Coeficiente U debe ser bajo.
- TV también alta.
- Será necesaria la utilización de protecciones solares adecuadas.

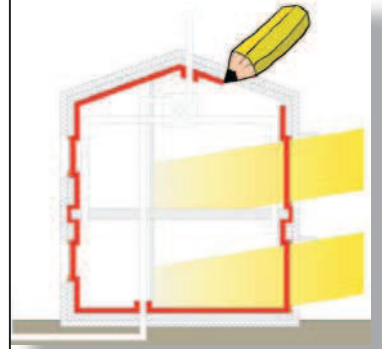
Finalmente para climas calurosos:

- Es más conveniente el uso preferencial de ventanas al norte combinado con ventanas al sur con sombreados adecuados pero muy efectivos: arbolado, jardinería, toldos y pantallas.
- El coeficiente U también tendrá que ser tan bajo como sea posible, en este caso para mantener el calor en el exterior.
- Factor Solar también tan bajo como sea posible, menor de 0,4.



7

NECESITAMOS EDIFICIOS ESTANCOS



7.1. CONCEPTO DE ESTANQUEIDAD

La piel exterior de un edificio debe evitar el paso incontrolado del aire, tanto en el caso de las casas pasivas como en el resto. Esta necesidad es fácilmente entendible y justificable; a pesar de ello, es habitual escuchar que las juntas mal selladas en una construcción ayudan a mejorar la ventilación de un edificio.

Esta afirmación es totalmente errónea por varias razones: En primer lugar, el caudal de ventilación puede no ser suficiente. El volumen de aire que atraviesa las rendijas depende de la presión del viento en la envolvente y la diferencia de temperaturas interior y exterior. El viento no es constante, así que la intensidad del viento será aleatoria y no dependerá en absoluto de la ocupación del edificio. Por otra parte, cuando se incrementa la diferencia de temperatura interior-exterior significa que aumenta el caudal de aire y, por lo tanto, las pérdidas térmicas cuando baja la temperatura exterior.

Otro inconveniente de un mal sellado de juntas es la posible penetración de agua exterior en el caso de un fuerte chubasco acompañado de viento. Además, en el caso de invierno, una fuga de aire húmedo procedente del interior del edificio que atraviese la capa aislante, puede provocar condensaciones que malogren el material y produzcan moho y otras patologías.

Por todo lo anterior, no parece una buena idea confiar la ventilación del edificio a la permeabilidad de la envolvente. Más en el caso de un edificio *Passivhaus* donde la renovación del aire está controlada por un equipo de ventilación. La existencia de rendijas en la envolvente provoca una descompensación en el sistema de ventilación con corrientes de aire que pueden afectar a la confortabilidad en el interior y a la eficiencia energética del edificio.

Por último, una piel hermética de los edificios mejora considerablemente su protección frente al ruido.

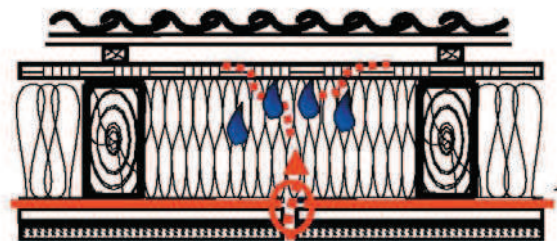
Exterior: 0°C, 80% humedad

1 g agua al día

Por difusión

360 g agua al día

Por convección



1 mm de anchura de junta/m longitud

2 Pascales de presión interna

Interior: 20°C, 50% humedad

Figura 1. Cubierta de madera. Paso de agua. Fuente: Blowerdoor GmbH.

La figura muestra una sección por una cubierta de estructura de madera con una lámina de barrera de vapor (línea roja en el interior de la construcción). Muestra la diferencia de paso de agua (en g/día) en caso de una construcción sin daños (el traspaso de agua es por difusión) y en caso de una construcción con daños (rendija en la lámina de barrera de vapor). En el segundo caso el paso de agua en esta zona se multiplica por 360 (bajo las condiciones climáticas descritas).

Estanqueidad al aire no debe confundirse con aislamiento térmico. Ambas propiedades son importantes para la envolvente del edificio, pero por lo general tienen que ser alcanzadas de forma independiente una de la otra.

Un buen grosor de aislamiento no suele ser, generalmente, hermético: por ejemplo, puede soplar aire sin problema a través de una manta de fibra de coco, de celulosa o de un aislamiento de lana mineral. Son buenos materiales para aislar, pero no herméticos.

Por el contrario, un elemento hermético no es necesariamente un buen aislamiento térmico: por ejemplo, una lámina de aluminio es totalmente hermética, pero no tiene prácticamente ningún efecto aislante.

Otro ejemplo: con un jersey de lana se consigue mantener el calor del cuerpo a la temperatura de confort. En el momento que haya viento esta característica de aislamiento se pierde casi completamente. En este caso se necesita cubrir este jersey con una chaqueta que frene el viento. Así se devuelve el efecto deseado de aislamiento térmico del jersey.

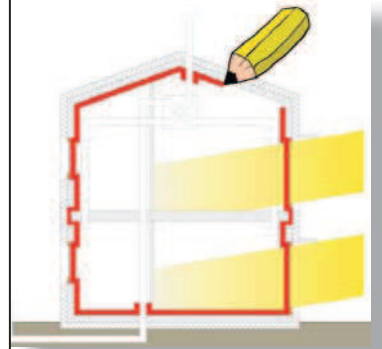
La hermeticidad al aire es un requisito importante para la construcción eficiente energéticamente, pero no el más importante (un buen aislamiento térmico lo es más). Por lo tanto el test de hermeticidad al aire (Blower-Door) es un requisito importante para una casa pasiva, pero no es suficiente.

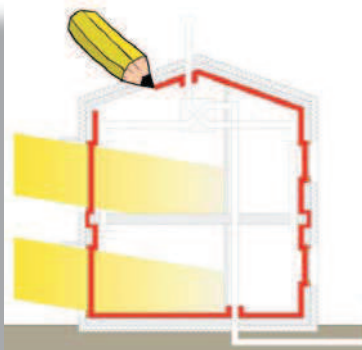
El ahorro energético es cuantificable por el cálculo que se hace con datos de aislamiento térmico. Pero ¿qué sentido tiene este ahorro cuando escapa una parte de esta energía de forma incontrolada e indeseada por las rendijas y juntas de la construcción? Este efecto aumenta aún más cuando se intenta recuperar el calor a través de un sistema de ventilación controlada. Varios estudios han certificado que edificios bien aislados con un sistema de ventilación controlada con recuperación de calor pero con una construcción poco hermética gastan más energía de la que es capaz de ahorrar el sistema.

El programa PHPP (cálculo energético para casas pasivas) relaciona la hermeticidad de un edificio directamente con el resultado de la demanda energética. En el mismo se observan rápidamente ahorros de energía significativos en el momento en el que se incluye una construcción hermética. Esto se pone especialmente de manifiesto cuando está instalado un sistema de ventilación controlada con recuperación de calor.

Cuando aparecen infiltraciones indeseadas (y por tanto una construcción menos hermética) el sistema de ventilación controlada con recuperación de calor trabaja también con aire exterior que está entrando directamente al interior del edificio sin pasar por el sistema de ventilación, y entonces el sistema no trabaja eficientemente, debido a la descompensación del mismo (la ventilación controlada consiste en un flujo constante de aire, igualándose el de entrada con el de salida -es el llamado «equilibrio» en la ventilación- si entra aire al sistema por otros medios (infiltraciones) se descompensa el sistema).

Es importante no confundir la permeabilidad al aire con la difusión al vapor: por ejemplo una lámina de papel aceitado es hermético, pero





permeable. En cambio una lámina de PE es hermético pero no permeable a la difusión de vapor. Enlucidos interiores (como yeso, estuco, yeso o cemento reforzado con fibras) son generalmente bastante herméticos, pero permeables. Del mismo modo se comportan por ejemplo los tableros de fibras de madera orientada (OSB).

7.2. PRINCIPIOS DE CONSTRUCCIÓN HERMÉTICA

El principio más importante para el diseño de la estanqueidad del aire es la llamada «regla del lápiz» (ver Fig. 2).

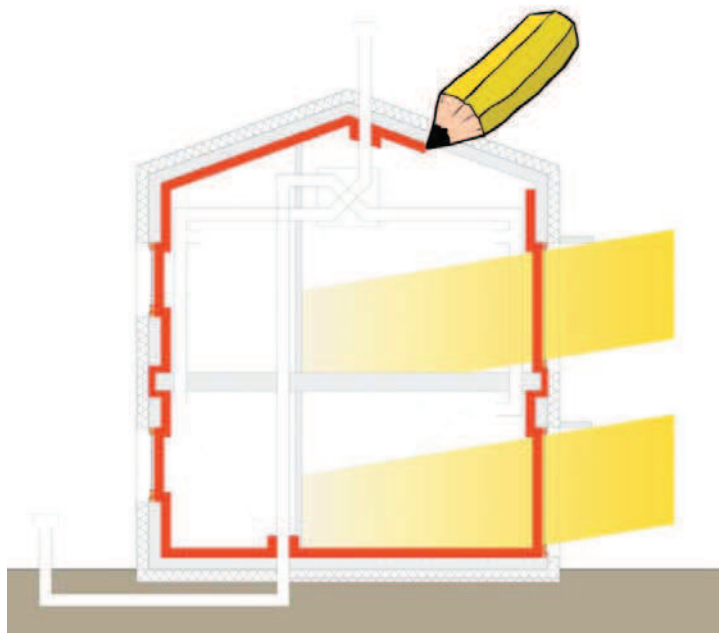


Figura 2. Regla del lápiz. Fuente: Wolfgang Berger,

La piel del edificio debe ser dibujada sin interrupciones en cada sección (horizontal y vertical) con un lápiz. De este modo se encuentran todos y cada uno de los puntos conflictivos. Esto ayuda a tener el proyecto controlado puesto que en cada punto hay que aclarar en detalle cómo se construye la continuidad hermética de la piel del edificio. Es sobretodo un trabajo de buen diseño. Solo lo que es cuidadosamente diseñado puede ser bien ejecutado en la obra y garantizada así la hermeticidad.

Se diseña sólo una capa de estanqueidad y no dos capas paralelas, como a menudo se suele pensar si no se tiene una experiencia mínima. Esto es así porque aunque en un punto esté hecha la hermeticidad por

fuera, y en el siguiente por dentro, por poner un ejemplo, ello no garantiza la hermeticidad del conjunto. Pensemos que esto es equivalente a dos cubos de agua, uno dentro de otro, cada uno de ellos con un agujero, no necesariamente coincidente: el resultado de su capacidad de contener agua sin que sea derramada es evidente.

Además de todo esto, el concepto de estanqueidad debe tener carácter permanente, es decir, que tenga durabilidad durante la vida útil del edificio. Por tanto, no valen soluciones donde el material se pueda degradar al cabo de dos, tres o cinco años.

Construir de una manera hermética no depende del tipo de construcción. Muchos ejemplos ejecutados de estructuras de hormigón, fábrica, madera o acero certifican que se puede conseguir con un diseño cuidadoso valores de hermeticidad de test de presión de n_{50} (Pa) entre 0,2 y 0,6 renovaciones/h, independientemente de su solución estructural.

En un estudio realizado sobre un bloque de viviendas de protección oficial en Vitoria se comprobó que hay posibilidades de ahorro energético por mejorar la estanqueidad del edificio desde un valor n_{50} de 3,5 a 0,6 renovaciones/h, del orden de hasta un 5% del total de la demanda de calefacción. En el caso de simular el mismo edificio en un clima más cálido como el de Sevilla el ahorro conseguido sería aproximadamente un 2,5%, sólo por éste concepto.

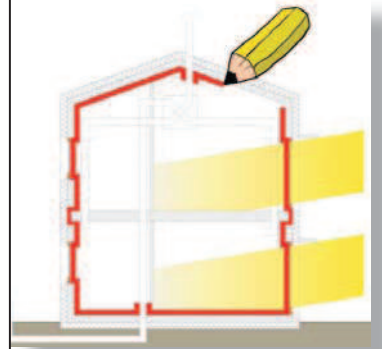
7.2.1. Pasos en las diferentes fases del proyecto para conseguir una buena estanqueidad de la construcción

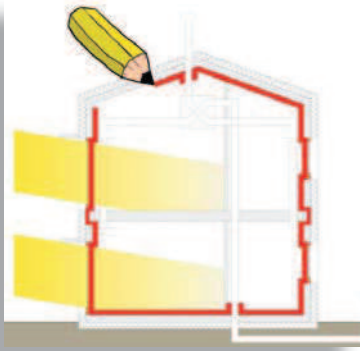
En el Proyecto Básico

- Delimitar la posición de la capa de hermeticidad.
- Evitar romper la capa de hermeticidad.
- Minimizar la longitud de las juntas.

En el Proyecto de Ejecución

- Comprobar la continuidad de la capa hermética.
- Definir los materiales de la capa hermética y sus juntas/uniones.





Guía del estándar Passivhaus

- Diseñar detalles (mín. $E=1/10$) y elaborar notas aclaratorias para la correcta construcción.
- Comprobar la durabilidad de las juntas/uniones y de los materiales.

En las mediciones y presupuestos

- La hermeticidad al aire debe ser parte del contrato de obra para el constructor, incluyendo el valor mínimo exigido tras la prueba de estanqueidad.
- Contabilizar los metros lineales de juntas/uniones de cada detalle y definir los materiales.

Dirección de obra

- Planificación del test de hermeticidad (Blower-Door) durante el proceso de obra.
- Comprobación de los materiales utilizados y de las juntas/uniones y penetraciones.

7.2.2. Problemas más frecuentes de la estanqueidad al aire en la construcción

Las zonas típicas que pueden presentar problemas suelen ser:

- Pasos de conexiones de la pared en las estructuras de madera.
- La continuidad de la barrera de vapor en la albañilería o la construcción de madera.
- Las juntas de la barrera de vapor, su continuidad y superposición.
- Los cabios a la vista de un tejado.
- Las conexiones de la pared con el forjado.
- La colocación de ventanas y marcos de las ventanas.
- Las salidas de instalaciones en la cubierta (lucernarios, chimeneas, etc.).
- Las cajas de contraventanas, cajas de persianas.
- Las penetraciones, habitaciones o huecos sin calefactar contemplados en la estética del proyecto.

- Los componentes de instalaciones (por ejemplo: las tuberías de agua y calefacción, las líneas eléctricas y el cableado, los pozos de registro de las instalaciones, etc.).

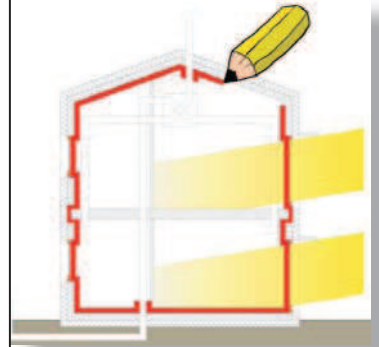
7.2.3. Materiales que consiguen una construcción hermética

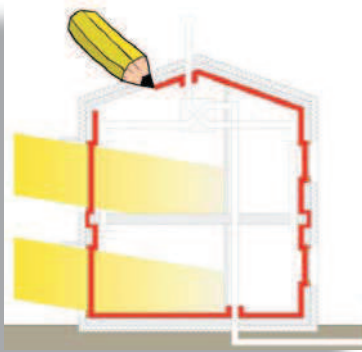
En la DIN 4108-7 (Edición 2001) se presentan materiales para construir capas herméticas y sus juntas/uniones en ejemplos.

- Las construcciones de fábrica y hormigón, según normativa DIN 1045-2 son herméticas. Generalmente es necesario recubrir con un tipo de enlucido la construcción de fábrica para conseguir la hermeticidad, desde el suelo hasta el techo. La junta de mortero no es hermética.
- Láminas herméticas, que pueden ser de plástico, de elastómeros, de bitumen o derivados de papel. Estas no deben ser perforadas.
- Los tableros de fibra de yeso, cartón-yeso, fibra de cemento, chapas y tableros de material madera son herméticos y se puede producir una superficie hermética respetando un tratamiento especial hermético para los solapes, uniones, perforaciones, penetraciones, etc.
- Ejecuciones NO herméticas suelen ser, por ejemplo:
 - Chapas de perfiles trapezoidales en la zona de solape.
 - Encofrados de tablas de madera machihembrados.
 - Tableros o tablas como revestimientos interiores en las zonas de uniones y penetraciones, a modo de zócalos o tapajuntas.

7.2.4. «El arte de la junta»

- Materiales herméticos como cordones, cintas adhesivas o perfiles especiales puestos con presión suficiente en el solape pueden servir para tapar juntas.
- Las juntas no se deben rellenar con espumas que se autoexpanden puesto que no se puede conseguir una unión hermética o, en el hipotético caso en que esto fuera posible, el material suele degradarse en pocos años.





Guía del estándar Passivhaus

- Juntas entre láminas y revoques puestas interiormente pueden ser resueltas fácilmente superponiendo una franja de revoque o mediante una combinación de rastrel y material elástico en masa colocado mecánicamente y a presión. Lo importante es que la solución para las juntas sea duradera.
- Las penetraciones de tubos, macarrones, pasos de instalaciones y piezas especiales de construcción se tratan con collarines o cintas adhesivas.



Fotografías 1 y 2. (izq.) Infiltración debido a penetración de cables. (drcha.) Infiltración debido a aislamiento incorrecto en el encuentro con la chimenea. (Fuente: Blower Door GmbH).

- Los materiales de aislamiento generalmente no son herméticos. Para ello habrá que utilizar técnicas combinadas, como por ejemplo junto con enlucidos (en caso de construcción de fábricas de ladrillo) o junto con láminas/tableros (estructuras de madera/acero) para garantizar la hermeticidad.

7.3. COMPROBACIÓN Y NORMATIVA

7.3.1. Normativa UNE - EN 13829

Aislamiento térmico: determinación de la estanqueidad al aire en edificios. Método de presurización por medio de ventilador.

El método de presurización mediante ventilador está dirigido a caracterizar la permeabilidad al aire de la envolvente del edificio o sus partes componentes.

Se podrá usar en distintas aplicaciones:

- Para medir la permeabilidad al aire de un edificio, o parte componente del mismo.
- Para comprobar que esté conforme a las especificaciones del diseño escogidas.
- Para comparar la permeabilidad relativa al aire de varios edificios similares o de partes componentes de los mismos.
- Para identificar los orígenes de la fugas de aire.
- Para determinar la reducción de fugas de aire, como resultado de las medidas individuales y actualizadas, aplicadas de manera progresiva, en un edificio, o en una parte de éste.

Los resultados del test de presurización se pueden utilizar para hacer una estimación de las infiltraciones de aire por métodos de cálculo posteriores.

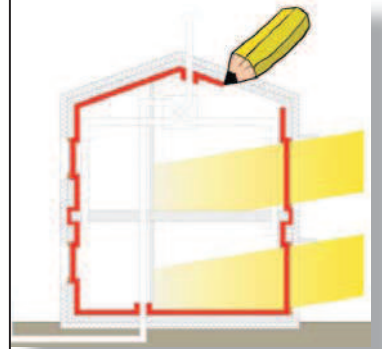
Se miden sólo los flujos de aire a través del edificio del exterior al interior y viceversa.

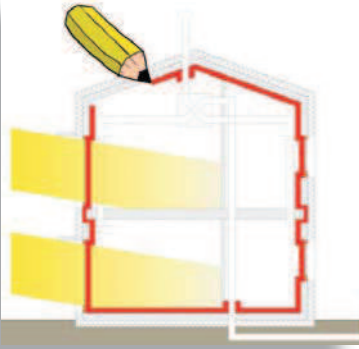
Para aplicar el test de presurización para la estimación de flujo de aire se necesitan conocimientos de principios de flujo de aire en mediciones a presión.

Es recomendable evitar mediciones bajo condiciones meteorológicas extremas, como vientos fuertes y grandes diferencias de temperatura, porque falsean el resultado o impiden la realización del mismo.

El test se puede aplicar también dentro de una zona concreta del edificio. Se entiende como zona el conjunto de varias habitaciones, debiendo abrirse los compartimentos interiores (puertas, etc.) para conseguir presiones iguales en todos los puntos.

La medida de referencia es el volumen interior de la zona del edificio o edificio entero que está en estudio. Los límites de intercambio de aire son marcados por los aparatos del test de presurización, bien por su máxima capacidad de transporte de aire (en m^3), bien por unidades (min/h).





7.3.2. Test de presurización

Entre las medidas de política ambiental recogidas en la legislación de numerosos países europeos se señala la necesidad de disponer de envolventes estancas en los edificios de nueva construcción. La estanqueidad de la envolvente no es más que un requisito previo que permite la puesta al día de los conceptos energéticos.

El sistema de medición permite la detección de infiltraciones y la comprobación del grado de estanqueidad de la envolvente exterior de los edificios. Su empleo es importante por motivos energéticos, estructurales, de confort y de salubridad:

- Debido a la presencia de infiltraciones el aire caliente fluye hacia el exterior a través de las mismas, lo cual implica un alto **coste energético**.
- Además, dicho aire transporta humedad, con lo cual al enfriarse en la cara exterior de la envolvente se condensa y puede causar **daños estructurales** severos.
- Asimismo con su utilización se logra aumentar el nivel de **confort**, ya que se evita la entrada de corrientes de aire frío procedentes del exterior.
- También se favorece la **salubridad** al impedir el acceso de partículas de polvo que pueden tener efectos nocivos para la salud de los ocupantes.

El test BlowerDoor se utiliza desde 1989 en Alemania para llevar a cabo mediciones de estanqueidad y hoy es uno de los más exitosos dispositivos de comprobación de la misma a nivel mundial.

Gracias a su amplio espectro de medidas, comprendido entre 19 m³/h y 7.200 m³/h, este test se utiliza de manera universal para medir la estanqueidad no sólo en casas pasivas, sino también en viviendas de nueva construcción, en obras de rehabilitación, en construcciones antiguas e incluso en grandes edificios.

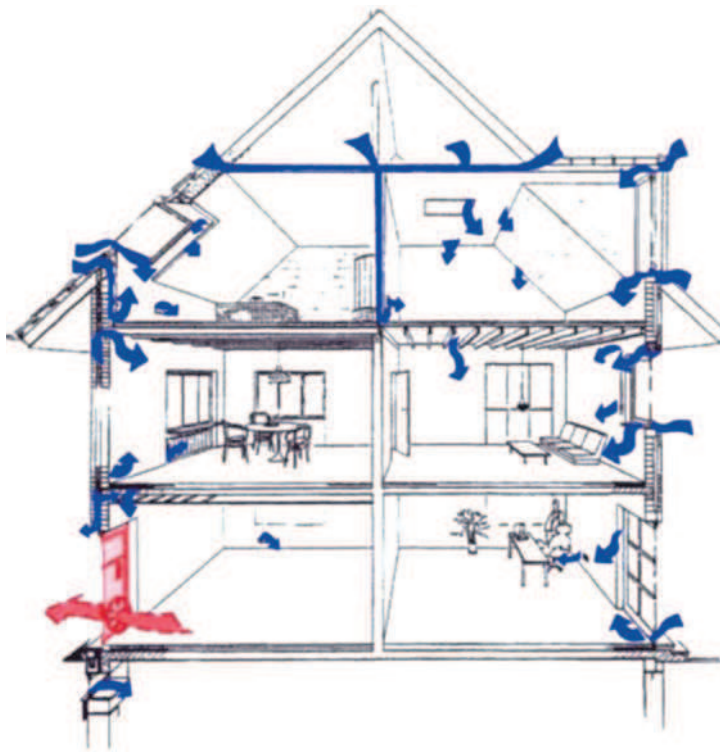


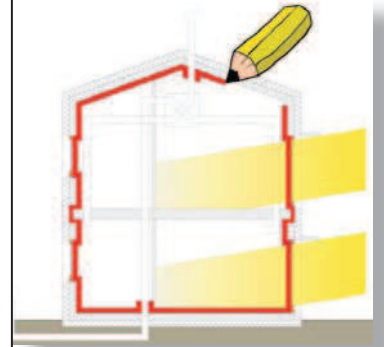
Figura 3. Test BlowerDoor.

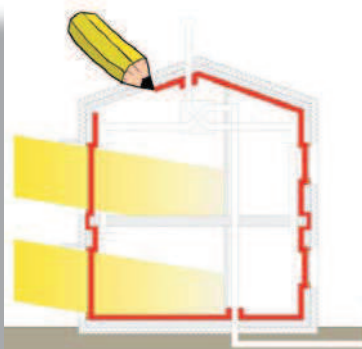
En el test BlowerDoor (Fig. 3) un ventilador extrae el aire del interior del edificio; al mismo tiempo el aire exterior penetra a través de las infiltraciones de la envolvente.

1. Proceso de realización del Test

Se recomienda la realización del test BlowerDoor mientras el aislamiento permanece accesible, puesto que de este modo las infiltraciones pueden ser eliminadas con poco esfuerzo. Si por el contrario las infiltraciones se detectan durante la realización del test con el edificio en uso se requerirá un coste de reparación considerablemente mayor.

Para la realización del test se instala el sistema **BlowerDoor** en una puerta o ventana exterior del edificio. Durante el proceso el resto de puertas y ventanas exteriores deben permanecer cerradas, mientras que las puertas interiores permanecerán abiertas.





Guía del estándar Passivhaus



Fotografías 3 y 4. (izq.) Test BlowerDoor en vivienda unifamiliar de nueva construcción. (dcha.) Test BlowerDoor en rehabilitación de edificio con estructura de madera.



Fotografías 5 y 6. (izq.) El aislamiento es aún visible (planchas y paneles de madera): Este es el momento óptimo para una medición BlowerDoor. (dcha.) Estructura BlowerDoor instalada y lista para la búsqueda de infiltraciones.

Gracias al control informatizado mediante el software **especializado**, las mediciones se llevan a cabo de manera automática, aunque si es necesario también es posible trabajar en modo manual.

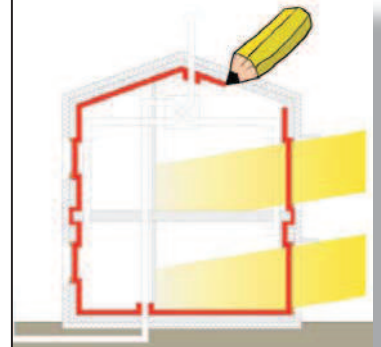
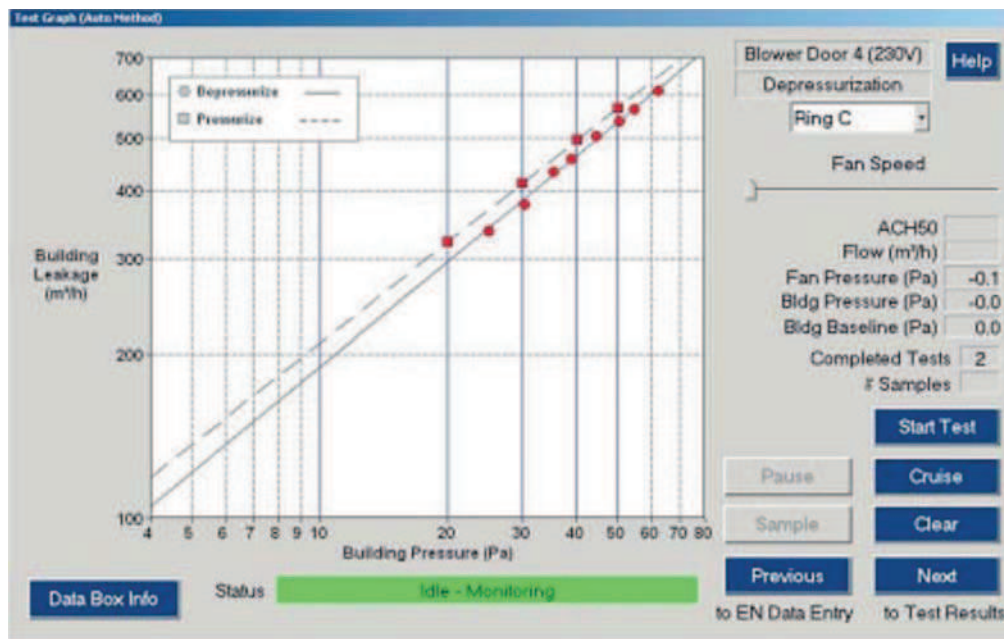


Figura 4. Imagen tipo del test realizado por el software y su aspecto en pantalla (software utilizado: TECTITE Express).

2. Test de infiltraciones

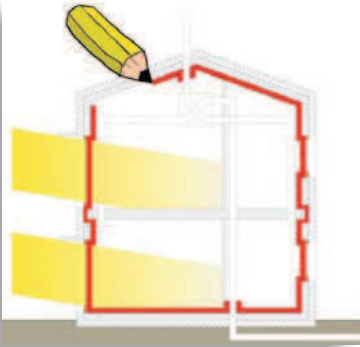
Para la detección de infiltraciones se genera de manera automática una presión negativa de 50 Pascales.

Debido a ello el ventilador empezará a extraer el aire del interior del edificio. Si hay infiltraciones en la envolvente, el aire exterior penetrará a través de las mismas, con lo que se facilita su localización, dado que con la entrada forzada del aire es muy fácil localizar los puntos mal ejecutados en la construcción.

Detección de infiltraciones

Para detectar y cuantificar con precisión las infiltraciones, durante la despresurización generada por el equipo BlowerDoor se realiza una minuciosa inspección de la envolvente del edificio, para la cual se podrá contar con la ayuda de anemómetros, generadores de humo y/o sistemas de termografía infrarroja. En algún caso la infiltración puede llegar a sentirse al pasar la mano por delante.

a. Anemómetros: permiten examinar todas las conexiones, juntas y penetraciones para detectar infiltraciones y determinar la temperatura y la velocidad del aire que accede a través de las mismas. El extre-



Guía del estándar Passivhaus

mo ajustable del sensor telescópico del anemómetro permite localizar fácilmente las infiltraciones incluso en las esquinas.



Fotografía 7. Anemómetro.

- b. Generadores de humo:** ideales para visualizar infiltraciones de compleja trayectoria a través de cubiertas, sinuosos muros o conductos de gran volumen, puesto que crean nubes de humo que son visibles en la zona de presión positiva.



Fotografía 8. Generador de humo.

- c. Termografía infrarroja:** la utilización conjunta de la termografía infrarroja y el test BlowerDoor permite la detección de infiltraciones complejas de manera rápida y sencilla.

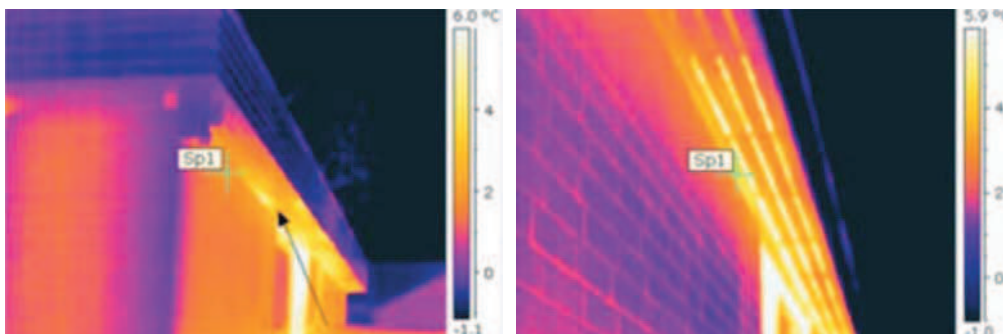
Ejemplo:

Caso Exterior: Termografía + Presurización con BlowerDoor

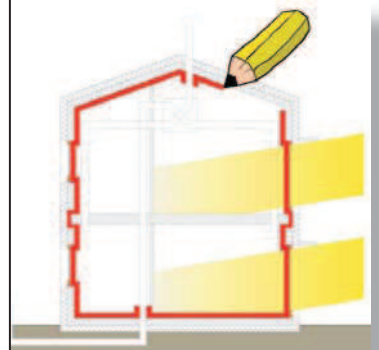


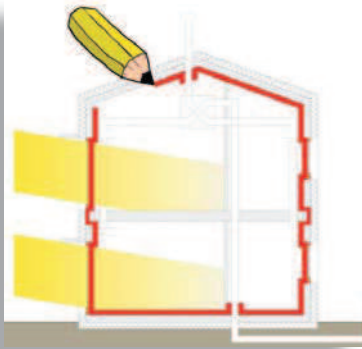
Fotografía 9. Exterior de edificio; vista suroeste.

- Termograma a presión normal: se observan puntos relativamente calientes en la cornisa (flecha). Se trata de aire caliente procedente del interior del edificio.
- Termograma con presurización provocada por la Minneapolis Blower-Door. Pueden apreciarse claramente corrientes de aire caliente procedentes del interior que salen al exterior por la cornisa, a través de las juntas de los tablones que forman el forjado de la cubierta. Se puede concluir que esto es debido a que el revestimiento interior es defectuoso.



Fotografía 10 y 11. (Izq.). Termograma a presión normal. (Drcha.). Termograma + Presurización.





3. Test de estanqueidad

Para la determinación del nivel de estanqueidad de un edificio será necesario realizar un test de presurización y otro de despresurización, dirigidos ambos automáticamente mediante el software especializado, que se encargará de calcular, tras concluir el proceso de medición, el valor de la Tasa de Intercambio de Aire (n_{50}), que deberá estar dentro de los límites especificados por la normativa de cada país.

En este caso el término estanco no implica que el edificio lo sea absolutamente, sino que lo que se pretende es evitar infiltraciones no deseadas en su envolvente.

4. Test BlowerDoor en grandes edificios

En el caso de mediciones en grandes edificios industriales, de oficinas y de otros usos, cuando el volumen del inmueble exceda la capacidad de un solo ventilador, se pueden combinar varios dispositivos para alcanzar la magnitud deseada. Mediante los dispositivos de conmutación es posible ajustar continuamente el flujo de aire con una precisión definida.



Fotografía 12. Test Blower Door en grandes edificios.

7.3.3. Exigencia para el estándar *Passivhaus*

En Alemania la normativa (ENEV) del 1 de febrero 2001 exige por primera vez un valor límite de permeabilidad al aire para la nueva construcción:

- Valor máximo de $n_{50} = 3 \text{ h}^{-1}$ (sin sistema de ventilación controlada).
- Valor máximo de $n_{50} = 1,5 \text{ h}^{-1}$ (con sistema de ventilación controlada).

La experiencia dice que habrá que mejorar estos valores para conseguir un estándar energético más estricto como el de bajo consumo energético o el estándar *Passivhaus*.

Como valor de referencia, las nuevas construcciones habituales en estos momentos en España tienen valores de test de presión $n_{50} > 3 \text{ h}^{-1}$, llegando incluso hasta 5-6 h^{-1} en algunos casos.

Una casa pasiva no debería tener infiltraciones indeseadas. Como es prácticamente imposible construir un edificio totalmente hermético, para el estándar *Passivhaus* se exige el límite máx. de test de presurización en $n_{50} = 0,6 \text{ h}^{-1}$.

Habitualmente los valores en casas pasivas ejecutadas tienen valores situados entre 0,2 h^{-1} y 0,6 h^{-1} .

7.3.4. Cálculo

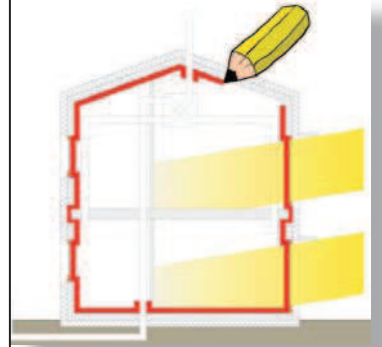
Ese límite de 0,6 h^{-1} se puede traducir mediante una regla general para estimar la abertura equivalente en viviendas:

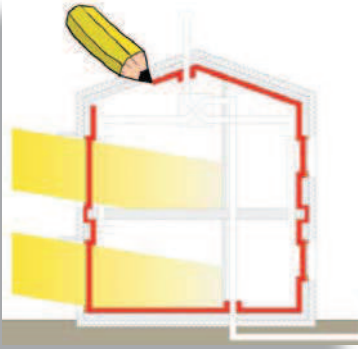
Volumen interior x resultado test de presurización $n_{50}/2$.

Ejemplo vivienda *Passivhaus*:

500 m^3 (vivienda unifamiliar aislada) $\times 0,6/2 = 150 \text{ cm}^2 = 12,3 \text{ cm} \times 12,3 \text{ cm}$

Esto quiere decir que la suma de todas las aberturas de infiltración de una vivienda unifamiliar aislada debe ser inferior a unos 150 cm^2 . Respecto a la suma de las superficies de una envolvente (solera, paredes, tejado), la superficie de 150 cm^2 , equivalente a la palma de una mano



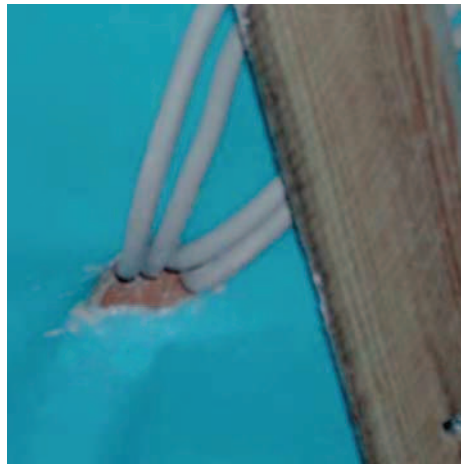


Guía del estándar Passivhaus

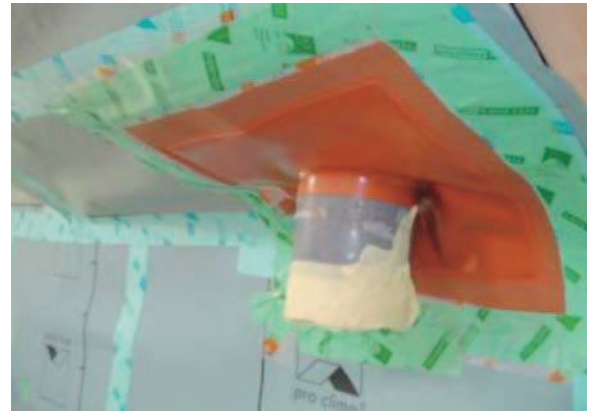
adulta, significa que la ejecución de un edificio Passivhaus necesita de un nivel de error mínimo en la planificación y la ejecución.

7.4. EJEMPLOS DE FALLOS Y SOLUCIONES

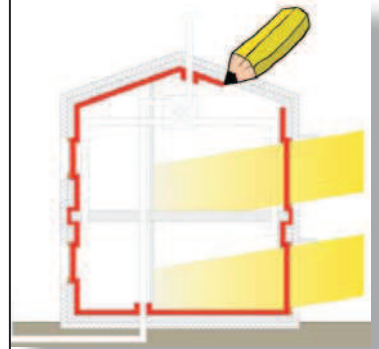
A continuación se muestran algunos errores típicos de ejecución de la capa hermética y sus posibles soluciones.



Fotografías 13 y 14. (Izq.) Paso de cables en la cubierta.
(Drcha.) Solución con collarines para paso de cables.
Fuente www.blowerdoor.de.



Fotografías 15 y 16. (Izq.) Paso de un tubo de ventilación en la cubierta.
(Drcha.) Solución con collarines y cintas adhesivas.
Fuente www.blowerdoor.de.



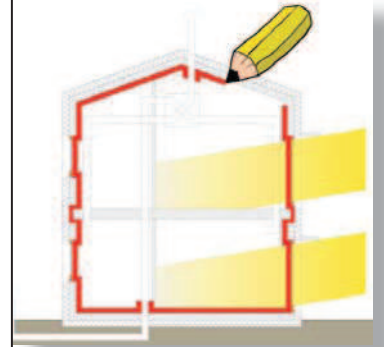
Fotografías 17 y 18. (Izq.) Sellado de estructura de madera.
(Drcha.) Sellado de unión de la ventana con la estructura de madera.
Fuente: Wolfgang Berger, www.arkimo.es.

7.5. BIBLIOGRAFÍA

- BlowerDoor GMBH, MessSysteme für Luftdichtheit, Energie- und Umweltzentrum 1, D-31832 Springe.
- Enciclopedia del estándar Passivhaus del Passive House Institute www.passipedia.passiv.de
- Fachverband für Luftdichtes Bauen (Asociación de construcción estanca) www.flib.de
- Gestaltungsgrundlagen Passivhäuser, Dr. Wolfgang Feist, Editorial Das Beispiel, ISBN: 3-935243-00-6.
- Norma española – UNE EN 13829, de enero 2002, AENOR, Madrid.

8

LA PROTECCIÓN FRENTE AL SOL EN VERANO



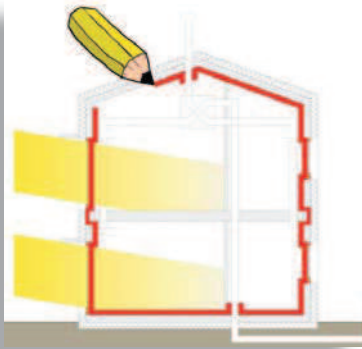
8.1. LA RADIACIÓN SOLAR: UNA BENDICIÓN EN INVIERNO; UNA MALDICIÓN EN VERANO

8.1.1. Las sombras en elementos opacos y huecos

Sin ninguna duda el sol es la fuente de calefacción más eficiente que existe. Gracias al elevado nivel de radiación de la Península, en gran parte de las localidades españolas el diseño de un edificio maximizando la captación solar pasiva puede evitar el uso de un sistema activo de calefacción.

El problema que ofrece esta fuente renovable de energía en climas mixtos como el nuestro es qué hacer con ella en épocas calurosas. La solución no es minimizar la superficie de captación, que en su mayor parte se produce a través de los huecos, sino controlar cuando queremos captar la energía del sol y cuando queremos protegernos de ella.

Antes de abordar el tema de la protección solar de los huecos, a lo cual se dedicará mayormente el capítulo, es importante mencionar el efecto en los cerramientos opacos. Los colores oscuros y la falta de sombras sobre paredes y cubiertas ocasionan ganancias solares que se transmiten a través de dichos cerramientos durante todo el año. La razón es que un cerramiento oscuro puede tener una temperatura superficial muy superior a la temperatura del aire exterior, por lo que aumenta la entrada de calor al edificio por el mecanismo de la conducción. Obviamente las paredes que reciben más incidencia solar se verán más afectadas por dicho efecto. En los edificios con mayor aislamiento, la incidencia de la radiación solar sobre los paramentos opacos es menor que en edificios mal aislados; no obstante es un efecto importante y es tenido en cuenta en el diseño de casas pasivas, como veremos más adelante.



Guía del estándar Passivhaus

En zonas con elevado nivel de radiación solar es más aconsejable apostar por las ganancias solares pasivas a través de los huecos que a través de los paramentos opacos, por ser las primeras más fácilmente controlables en verano. Evitar las ganancias solares en fachadas y cubiertas se consigue con dos estrategias básicas: uso de colores claros que aumenten la reflexión del sol y uso de dobles pieles ventiladas en las cuales la piel exterior juega el papel de protección solar.

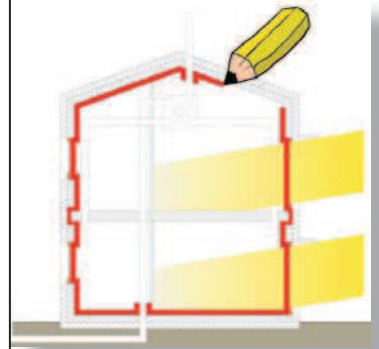
8.1.2. ¿Qué ocurre cuando el edificio no se protege del sol?

La incidencia de la radiación solar tiene efectos en el confort y en la factura energética de los edificios. Por un lado, a nivel de confort global del espacio, la entrada de radiación produce un calentamiento de las superficies interiores y del aire, el cual actúa de forma directa y también diferida en el tiempo debido a la inercia térmica de los materiales interiores. Por otro lado, la falta de protección de un hueco produce que la superficie de la ventana tenga una temperatura de radiación muy distinta que la de los otros paramentos del espacio; este desequilibrio de radiación produce incomodidad en los usuarios (bien porque hace demasiado calor en el edificio, bien porque las paredes están calientes, pero el aire está demasiado frío debido al uso del aire acondicionado). Según el RITE, el interior de los edificios debe tener una temperatura operativa —que es precisamente una combinación entre la temperatura del aire interior y la temperatura de radiación de las superficies interiores— dentro de un rango de confort, es decir, entre unos límites inferior y superior que varían según el tipo de vestimenta y nivel de actividad de los usuarios. Cuando el diseño pasivo del edificio no permite que se mantenga en dicho rango, deben habilitarse sistemas activos para garantizar que no se supere el rango de confort más que en un porcentaje de horas al año. Este principio es también aplicable en el diseño de edificios pasivos, pues tanto el estándar PH como el RITE están basados en estándares europeos.

La forma más efectiva de proteger un edificio de la radiación solar excesiva es mediante protecciones exteriores de los huecos, pues actúan simultáneamente sobre la falta de confort global y local del espacio.

En los edificios pasivos, incluso en centro y norte de Europa, se diseñan protecciones solares de los huecos cuando el resto de edificios de estas latitudes no acostumbran a usarlas. Las razones son claras: si se diseñan los

huecos para una mayor captación de la radiación solar en invierno, éstas pueden ocasionar excesos de radiación en verano; la otra razón es que un edificio mal aislado y poco estanco permitirá disipar sobrecalentamientos en las noches de verano (¡pero también dejará entrar el frío en invierno!). Si en verano se protegen los huecos de la radiación durante el día y se usan estrategias de ventilación nocturna, un edificio bien aislado y estanco funciona de forma excelente en todas las épocas del año. Aunque se proteja bien del sol, un edificio mal aislado y poco estanco funciona mal en invierno y regular en verano, pues el calor exterior entra en el edificio por conducción y mediante las infiltraciones del aire caliente exterior.



8.1.3. Confort térmico y confort lumínico: dos problemas a tratar

La radiación solar cumple una doble función en el planeta: nos proporciona confort térmico y nos ilumina. En los edificios, el exceso de calor por radiación debe paliarse con sistemas de refrigeración; el exceso de luz natural en un espacio produce deslumbramientos y contrastes que, en muchas ocasiones, exigen la intervención de iluminación artificial para equilibrar el nivel lumínico del espacio. Es importante tener en cuenta los dos efectos en el confort para diseñar las sombras sobre los huecos. En las últimas décadas se han diseñado protecciones solares que cumplen ambos cometidos de forma simultánea (ver Fig. 1.); en otros casos será más óptimo proyectar dos tipos de protecciones solares, unas para el control térmico y otras para el control lumínico.

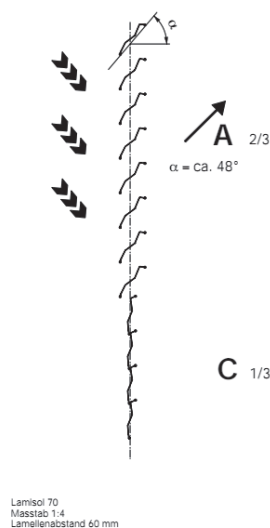
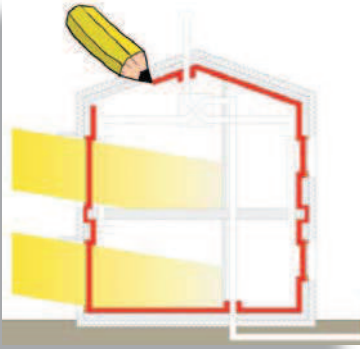


Figura 1. Protecciones solares con doble función para control térmico y lumínico.



8.1.4. Las orientaciones más problemáticas

Aunque la cantidad de radiación incidente en una superficie es simétrica respecto al sur, es decir, incide exactamente la misma radiación en una fachada este que en una oeste, las orientaciones posteriores al mediodía son más problemáticas que las anteriores. Ello es debido a que por la tarde se suman los efectos de la radiación y de temperaturas exteriores más elevadas que por la mañana. Por lo general, la orientación más crítica es la suroeste y es recomendable proteger los huecos principales en las orientaciones SO+/- 90°, es decir, desde SE a NO.

Los huecos en paredes sur son relativamente sencillos de proteger, pues el sol está muy vertical en verano (cerca de 70° respecto la horizontal, o 20° respecto el plano de la pared). Además, en el entorno del solsticio de verano la radiación solar incidente sobre la fachada sur es inferior a la que recibe la orientación oeste, pues en esta última la incidencia solar es más perpendicular a la superficie. Aun así, la superficie que mayor radiación recibe en verano es la cubierta, por lo que es muy importante evitar, o al menos proteger de la radiación de verano, los lucernarios horizontales.

8.1.5. El edificio y el entorno como protección solar

Un paso previo a diseñar elementos de sombra externos en los huecos es usar el edificio mismo como elemento de sombra. Los retranqueos de unos planos del edificio respecto a otros, tales como porches o galerías, pueden dar buena respuesta a la protección solar en verano. Otra estrategia muy importante es no alinear los huecos con la superficie exterior de las fachadas, pues los retranqueos protegen éstos del sol en verano y actúan en menor medida en invierno.

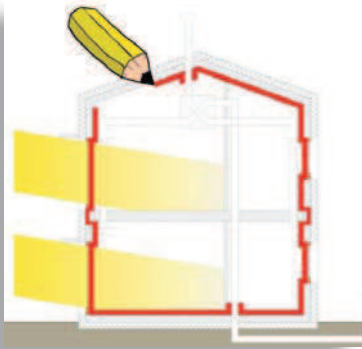
Los efectos del entorno son importantísimos en la incidencia de la radiación solar en un edificio; aun así, habitualmente estos efectos no se consideran por desconocimiento de dicho entorno o debido a la complejidad de un cálculo adecuado de su efecto en la radiación solar incidente. En la mayoría de programas de cálculo, la consideración del entorno se reduce a evaluar el efecto de las sombras de los principales obstáculos exteriores, sean geográficos o producidos por otros edificios.

Un caso claro es el uso de la vegetación tanto en el entorno como en el propio edificio (cubiertas o fachadas verdes, patios interiores con vegetación, etc.): nadie duda de que el uso de árboles de hoja caduca en las orientaciones más críticas de edificios de baja altura reduce la incidencia de radiación solar en verano. La vegetación tiene otros efectos beneficiosos en la estación calurosa: produce sombra sobre los paramentos opacos, reduce la reflectividad del terreno circundante y disminuye la temperatura del aire exterior por refrescamiento adiabático (parte de la energía de la radiación solar se destina a evaporar el agua de la vegetación en vez de calentar el entorno). Este triple papel lo producen, por ejemplo las cubiertas ajardinadas, tan útiles en nuestros climas y desafortunadamente tan poco utilizadas.

8.2. LAS PROTECCIONES SOLARES EN LOS HUECOS

Como es bien sabido, cuando la radiación solar cruza una superficie translúcida y rebota sobre superficies, ésta pierde energía y no puede escapar hacia el exterior. Las protecciones efectivas deben estar, pues, en el exterior para evitar que el calor quede atrapado en el interior del edificio.

Si por razones estéticas o ambientales (influencia del mar, fuertes vientos, etc.) no es posible usar protecciones exteriores, una buena solución es colocarlas entre vidrios. Las protecciones intermedias, pese a su coste inicial, tienen la ventaja de tener un mantenimiento casi nulo ya que sus superficies no se ensucian, por lo que su comportamiento óptico ante la radiación es constante en el tiempo. Otra posible solución es definir una protección solar exterior para confort



Guía del estándar Passivhaus

térmico, y realizar el control lumínico mediante una protección solar interior.

Si por razones varias no es posible colocar protecciones exteriores o intermedias, deben colocarse en el interior como mal menor; el resultado será siempre mucho mejor que si no hubiesen protecciones. La disposición en el interior permite asimismo usar vidrios reflectantes por la cara exterior, sin que la reflexión del vidrio rebote en las protecciones solares.



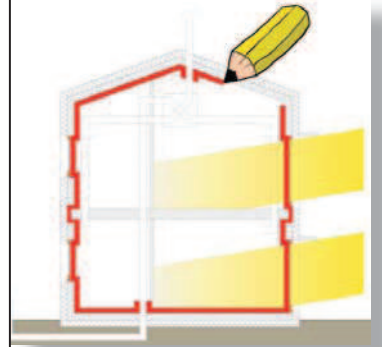
Fotografía 1. Protecciones interiores

8.2.2. Protecciones fijas y móviles

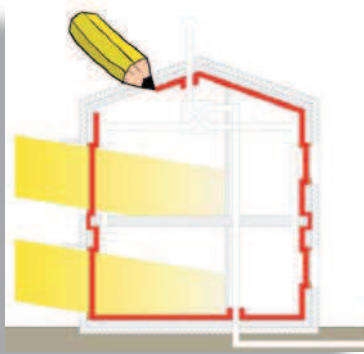
Las protecciones fijas acostumbran a ser más económicas y requieren menor mantenimiento. El inconveniente de una protección fija es que no funciona los 365 días del año de forma adecuada, es decir, permitiendo la entrada del sol cuando se requiere calefacción y privando su entrada cuando se sobrepasa la temperatura de confort interior. Las protecciones móviles, si están correctamente

utilizadas, sí que se ajustan a estas demandas variables. El uso de persianas exteriores como protección solar móvil tiene una efectividad mediana pues, aunque evita la entrada de calor, bloquea el paso de la luz natural e impide la ventilación natural. En edificios pasivos con ventilación mecánica con recuperación, las persianas tienen utilidad en las horas de mayor incidencia solar, pues puede recurrirse a la ventilación mecánica. No obstante, existen en el mercado gran cantidad de soluciones que dan mejor respuesta a la protección solar que las persianas, siendo su uso extensivo más ligado a factores socioculturales que a los energéticos y de confort (seguridad, privacidad, etc.).

En una vivienda, con unos conocimientos básicos de cómo usar las protecciones móviles de forma adecuada, puede conseguirse un elevado nivel de confort mediante el accionamiento manual de las mismas. El funcionamiento automático de dichas protecciones permite un mayor ahorro energético. En edificios terciarios con múltiples usuarios es imprescindible la automatización de las protecciones exteriores, pudiendo dejarse a los usuarios el control de la luz interior mediante la activación manual de las protecciones interiores.



Fotografía 2. Protecciones solares móviles



8.2.3. La elección de las protecciones solares

Existe una elevada oferta de productos en el mercado que permiten al proyectista elegir la solución más adecuada para cada situación. Aquí resumiremos unas ideas claves a tener en cuenta al diseñar las protecciones solares en los huecos de un edificio:

- Usar protecciones exteriores y, si no es posible, entre vidrios.
- Diseñar el edificio para auto-sombrarse y reflejar la radiación solar.
- Optar por formas horizontales para protecciones en ventanas al sur.
- Usar formas verticales en el este y el oeste.
- Dar prioridad a las protecciones en orientaciones de sur a oeste.
- Diseñar protecciones para evitar también deslumbramientos.
- El color de la protección modifica la luz y el calor incidente.
- Usar protecciones móviles y, si se considera necesario, controladas automáticamente.
- Las protecciones interiores deben ser usadas como protección adicional y preferiblemente deben ser claras.

8.3. LAS PROTECCIONES EN EL CTE

EL CTE, como muchas otras normativas, no tiene en consideración el efecto de las protecciones solares interiores en sus procedimientos de cálculo. La única forma de justificar su efecto es disponer de una simulación que calcule su efecto en las ganancias solares y lumínicas del edificio y reducir según los valores calculados el factor solar y la transmisividad de los vidrios.

El apéndice E del documento básico HE 1 *Limitación de la demanda energética* del CTE (HE1 2009) ofrece una serie de valores tabulados para los factores de sombra asociados a distintos tipos de protecciones solares exteriores para ser usados en el cálculo de la opción simplificada. Estos factores de sombra se multiplican por el factor solar de la

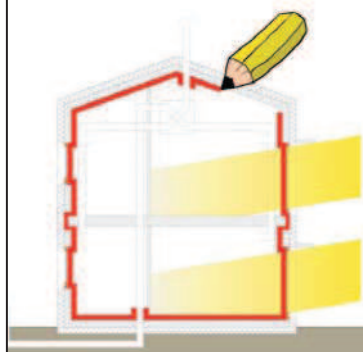
ventana (conjunto de vidrio y marco, más efecto del retranqueo) para obtener un factor solar modificado total de las ventanas con protecciones. Estos valores tabulados se han obtenido mediante simulaciones anuales, obteniéndose el coeficiente como un efecto promedio. En la opción general del HE 1 (simulación mediante el LIDER) o en las certificaciones con Calener GT, las protecciones se definen lo más parecidas a la realidad que permite cada programa y a partir de una simulación dinámica horaria se calcula el efecto global en las ganancias solares del edificio; en este caso el cálculo es más ajustado pero es menos intuitivo de cara al diseño de las protecciones. Por ello es recomendable usar las tablas de la opción simplificada para hacer una primera propuesta de protecciones y luego evaluar la influencia energética y acabar de ajustarlas, si cabe, con las herramientas dinámicas.

Las protecciones móviles tienen un tratamiento más dispar: no se definen en la opción simplificada, se asemejan a un corrector del factor solar de carácter estacional (invierno-verano) en LIDER, y se pueden definir mediante un horario para cada hora del día y época del año en Calener GT. Todos ellos tienen cierto grado de aproximación en la definición; por ejemplo, ninguno de estos programas normativos permite calcular el efecto de unas lamas orientables y replegables automatizadas con precisión.

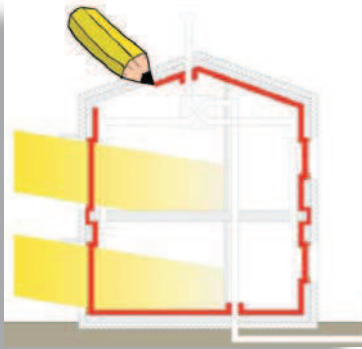
En lo relativo a las sombras sobre las componentes ciegas de la envolvente, la opción simplificada no tiene en cuenta dicho efecto, y en la opción general se toma un color medio por defecto, no permitiendo al proyectista evaluar la incidencia del color en el comportamiento energético del edificio. El efecto de soluciones comúnmente llamadas bioclimáticas, tales como doubles pieles ventiladas, debe modelarse mediante el uso de obstáculos externos que produzcan un efecto similar; por ejemplo, una doble piel ventilada se asemejaría a un obstáculo externo que discurre paralelo a la piel interior.

8.4. LAS PROTECCIONES EN EL PHPP

En el diseño de casas pasivas se consideran primeramente las sombras fijas exteriores (obstáculos) y propias del edificio (retranqueos, voladizos, etc.). El efecto de estas protecciones, definido como factor de reducción de sombras, es calculado por el PHPP¹ (PHPP 2007) a partir



¹ PHPP: Passivhaus Planning Package: programa de cálculo de edificios pasivos.



Guía del estándar Passivhaus

de dimensiones características de huecos y protecciones. También permite añadir otros factores de sombra (por ejemplo, el efecto de barandillas) siempre que se justifiquen los valores mediante el uso de herramientas específicas para dicho fin. Los factores de reducción totales para cada orientación o grupo de huecos son tenidos en cuenta para cálculos de calefacción y de refrigeración.

Además es posible añadir el efecto de protecciones solares móviles y protecciones solares interiores en verano. En este apartado está la posibilidad de añadir protecciones de forma permanente en verano (por ejemplo, por el efecto de la vegetación caduca) y/o definir protecciones temporales que pueden ser accionadas manual o automáticamente.

En cuanto a la incidencia de la radiación sobre los paramentos opacos, el PHPP permite definir coeficientes de absorción y emisividad para todos los cerramientos en contacto con el aire exterior, así como factores de reducción por el efecto de sombras tales como vegetación perenne, obstáculos externos o elementos propios del edificio tales como una doble piel ventilada.

8.5. CONCLUSIONES

No es posible diseñar un edificio pasivo sin atender a cómo protegerlo del sol indeseado en verano. No puede evaluarse el efecto de un buen aislamiento y una buena estanqueidad sin partir de la premisa de que el edificio no debe sobrecalentarse por efecto de la entrada de radiación solar no deseada; todos estos fenómenos deben evaluarse conjuntamente para poder realizar un buen diseño pasivo.

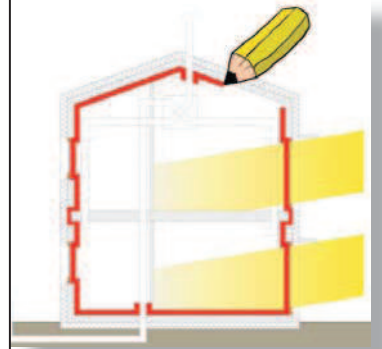
Las protecciones más efectivas son las colocadas en el exterior de las ventanas y cuyo accionamiento sea regulable para así permitir el acceso de la radiación de forma controlada. Asimismo es importante atender, además de a los aspectos energéticos y de confort térmico, al confort lumínico obtenido.

8.6. REFERENCIAS

- Código técnico de la edificación. Documento Básico HE 1 Ahorro de Energía, edición de abril de 2009.

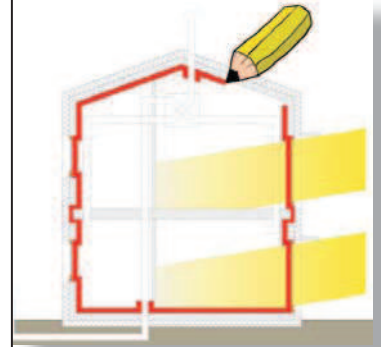
La protección frente al sol en verano

- O'CONNOR, J., et al. «Tips for daylighting with windows». Building Technologies Program, Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, USA, enero 1997.
- Passive House Planning Package PHPP 1998-2007. 2nd revised edition of the English 2007 user guide. Passive House Institute, Darmstadt, marzo 2010.



9

LA VENTILACIÓN MECÁNICA CON RECUPERACIÓN DE CALOR: LA GARANTÍA DE CALIDAD DEL AIRE INTERIOR

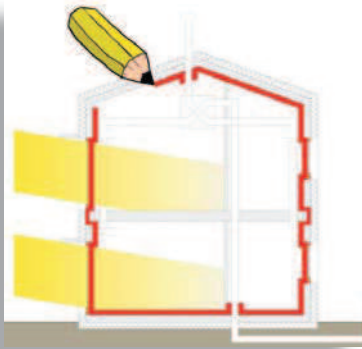


9.1. INTRODUCCIÓN A LA VENTILACIÓN DE CONFORT

Con la optimización de los aislamientos, la mejora de carpinterías exteriores y la eliminación de puentes térmicos en la envolvente, Passivhaus pretende reducir al máximo la influencia del ambiente exterior sobre los parámetros del ambiente interior de los edificios, de modo que se posibilite un riguroso control sobre la energía que entra o sale de los mismos con el fin de obtener un elevado confort térmico.



Al igual que con los parámetros anteriores, la estanqueidad de los edificios busca una mayor eficiencia energética, en este caso mediante la minimización de las infiltraciones de aire no deseadas, suponiendo un gran salto cualitativo en los métodos constructivos de los países europeos meridionales, como España. El control (o gestión) en esta ocasión, se realizará sobre el caudal de aire de renovación de modo que se garantice la salubridad del aire para los



Guía del estándar Passivhaus

ocupantes, eliminando los excesos de concentraciones interiores de humedad y CO_2 , proliferación de bacterias y hongos, supresión de bioefluentes y malos olores, etc., de modo cuantificable y eficaz.

Según la Directiva del Consejo Europeo 2002/91/EC, las juntas de unión de las carpinterías exteriores deben presentar las mismas propiedades de estanqueidad al aire y al agua, y de aislamiento térmico y acústico que los elementos de construcción adyacentes. Además deben presentar una buena permeabilidad al vapor de agua.

Durante los últimos años, las distintas administraciones autonómicas en nuestro país están haciendo un gran esfuerzo por mejorar la eficiencia energética en el sector doméstico, aplicando medidas como la sustitución de ventanas antiguas por otras de mejor calidad y transmitancia. Sin embargo, se debería realizar también un esfuerzo en la mejora de la colocación de carpinterías, implementando una tercera barrera interior mediante juntas de estanqueidad al aire. Más convencionales son la barrera exterior de impermeabilización al agua, y la barrera intermedia de aislamiento térmico.

Aunque este capítulo no es el específico sobre estanqueidad, los comentarios anteriores son pertinentes en el sentido de que una ventilación mecánica no puede ser correctamente diseñada ni funcionará de un modo óptimo si no se logra una cuantificación del caudal de aire de renovación. En otras palabras, si el aire y su carga energética circulan libremente entre el interior y el exterior de un edificio debido a una estanqueidad ineficiente, a través de fisuras, encuentros entre elementos de construcción adyacentes, etc., difícilmente se podrá controlar el volumen de aire que garantice la salubridad, ni se conocerán los aportes térmicos en uno u otro sentido, ni será eficaz el uso de recuperación de energía térmica.

9.2. VENTILACIÓN Y C.T.E.

El actual Código Técnico de la Edificación contempla la ventilación en los edificios como un medio para mejorar la salubridad del aire que respiramos y evitar condensaciones, tanto superficiales como intersti-

ciales, controlando las concentraciones de CO₂ (y otros bioefluentes) y de humedad.

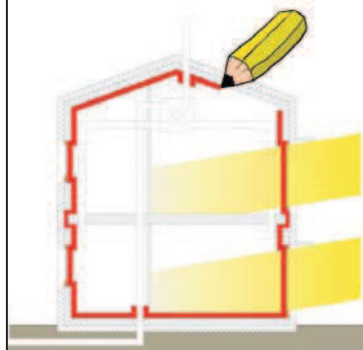
El CTE utiliza dos documentos básicos relacionados con la ventilación. Así pues, en edificios residenciales se empleará la exigencia básica HS 3 sobre «calidad del aire interior», y para el resto de edificios la exigencia básica HE 2 sobre «rendimiento de las instalaciones térmicas» (RITE). Se remite al lector hacia ambos documentos básicos, ya que no es el cometido de este capítulo la exposición del CTE, si bien se presenta un breve resumen práctico.

9.2.1. Edificios residenciales: CTE – HS 3

Las viviendas deben disponer de un sistema general de ventilación que puede ser *híbrida* o *mecánica*:

- **Ventilación híbrida:** Ventilación en la que, cuando las condiciones de presión y temperatura ambientales son favorables, la renovación del aire se produce por ventilación natural, y en caso contrario, mediante extracción mecánica.
- **Ventilación mecánica:** Ventilación en la que la renovación del aire se produce por el funcionamiento de equipos electromecánicos dispuestos al efecto en la extracción. Puede ser con o sin admisión mecánica.

El aire debe circular desde los locales secos a los húmedos. Para ello los comedores, los dormitorios y las salas de estar deben disponer de *aberturas de admisión*; los aseos, las cocinas y los cuartos de baño deben disponer de *aberturas de extracción*; las particiones situadas entre los locales con admisión y los locales con extracción deben disponer de *aberturas de paso* (las aberturas de paso más discretas son las que se ubican en los dinteles de las puertas). El área efectiva de las aberturas de paso será de $70 \text{ cm}^2 \text{ u } 8 \cdot q_{vp}$ (ocho veces el caudal de ventilación correspondiente a cada abertura). Los caudales mínimos de renovación son los que rezan en la siguiente tabla:



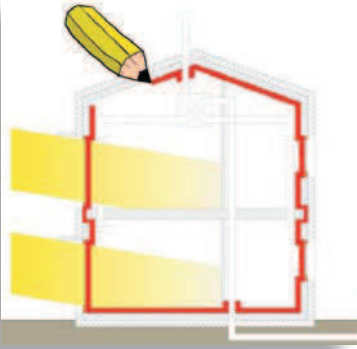


Tabla 1. Caudales de ventilación mínimos exigidos.

		CAUDAL DE VENTILACIÓN MÍNIMO EXIGIDO q_v (l/s)		
		Por ocupante	Por m^2 útil	En función
Locales	Dormitorios	5		
	Salas de estar y comedores	3		
	Aseos y cuartos de baño			15 por local
	Cocinas		2 ¹	50 por local ²
	Trasteros y sus zonas comunes		0,7	
	Aparcamientos y garajes			120 por plaza
	Almacenes de residuos		10	

¹ En las cocinas con sistema de cocción por combustión o dotadas de calderas no estancas este caudal se incrementa en 8 l/s.

² Este es el caudal correspondiente a la ventilación adicional específica de la cocina.

Fuente: CTE HS 3.

Las cocinas, comedores, dormitorios y salas de estar deben disponer de un sistema complementario de ventilación natural. Para ello debe disponerse una ventana exterior practicable o una puerta exterior.

Las cocinas deben disponer de un sistema adicional específico de ventilación con extracción mecánica para los vapores y los contaminantes de la cocción. Para ello debe disponerse un extractor conectado a un conducto de extracción independiente de los de la ventilación general de la vivienda que no puede utilizarse para la extracción de aire de locales de otro uso.

Cuando los conductos se dispongan contiguos a un local habitable, salvo que estén en la cubierta, para que el nivel sonoro continuo equivalente estandarizado ponderado producido por la instalación no supere 30 dBA, la sección nominal en cm^2 de cada tramo del conducto de extracción debe ser como mínimo igual a la obtenida mediante la siguiente fórmula o cualquiera otra solución que proporcione el mismo efecto:

$$S = 2,50 \cdot q_{vt}$$

siendo q_{vt} el caudal de aire en el tramo del conducto l/s, que es igual a la suma de todos los caudales que pasan por las aberturas de extracción que vierten al tramo. Cuando los conductos no sean contiguos a un local habitable, se empleará:

$$S = 2 \cdot q_{vt}$$

9.2.2. Ejemplo de cálculo de caudales de aire en una vivienda según CTE – HS 3

Si disponemos de una vivienda con 1 baño, 1 cocina de 5 m² útiles (cocción por combustión), tres dormitorios (dos dobles y uno sencillo) y un salón, el cálculo de caudales será el siguiente:

Tabla 2. Ejemplo de cálculo de caudales de aire. Primera aproximación.

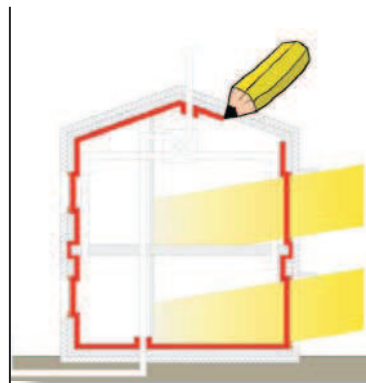
LOCAL	CAUDAL (l/s)	AIRE DE	CAUDAL (l/s)
Baño	15	Extracción	65
Cocina	$(2 + 8) \cdot 5 = 50$		
Dormitorio 1	$2 \cdot 5 = 10$	Admisión	40
Dormitorio 2	$2 \cdot 5 = 10$		
Dormitorio 3	$1 \cdot 5 = 5$		
Salón	$5 \cdot 3 = 15$		

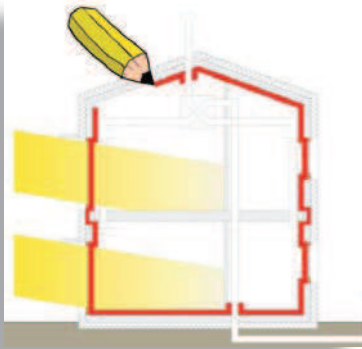
Una vez calculados los caudales mínimos totales de admisión y de extracción, se equilibran ambos flujos igualándolos al mayor de ellos.

Tabla 3. Ejemplo de cálculo de caudales de aire. Corrección.

LOCAL	CAUDAL (l/s)	AIRE DE	CAUDAL (l/s)
Baño	15	Extracción	65
Cocina	50		
Dormitorio 1	15	Admisión	65
Dormitorio 2	15		
Dormitorio 3	10		
Salón	25		

Se procurará establecer unos mínimos mediante la consideración de la posibilidad de dos ocupantes por local, así como un caudal mínimo equivalente a 0,3 renovaciones/h.





Guía del estándar Passivhaus

Según CTE y para uso doméstico, en ningún caso será obligatorio el uso de un dispositivo recuperador de energía del aire de expulsión.

9.2.3. Edificios no residenciales: CTE – HE 2 (RITE)

El Reglamento de Instalaciones Térmicas de Edificios (RITE) categoriza las distintas calidades de aire interior en función de su uso. La siguiente tabla muestra las categorías establecidas, así como los valores medios de los dos métodos de cuantificación más empleados.

Tabla 4. Categorías de calidad del aire interior.

CATEGORÍA	CALIDAD	USO	TASA DE VENTILACIÓN POR PERSONA (l/s)	CONCENTRACIÓN CO ₂ (SOBRE AIRE EXT) (ppm)
IDA 1	Alta	Hospitales, clínicas, laboratorios, guarderías y similares	20	350
IDA 2	Media	Oficinas, residencias (estudiantes y ancianos), locales comunes de edificios hoteleros, salas de lectura, museos, salas de tribunales, aulas de enseñanza y similares, piscinas y similares	12,5	500
IDA 3	Moderada	Edificios comerciales, cines, teatros, salones de actos, habitaciones de edificios hoteleros, restaurantes, cafeterías, bares, salas de fiestas, gimnasios, locales para el deporte (salvo piscinas), salas de ordenadores y similares	8	800
IDA 4	Baja	Nunca se empleará, salvo casos especiales que deberán ser justificados	5	1.200

Fuente: RITE.

Las categorías del aire interior pueden ser cuantificadas mediante uno de los siguientes métodos:

- Por nivel de CO₂.
- Por calidad del aire percibido.
- Por tasa de aire exterior por persona (método indirecto).
- Por tasa de aire exterior por unidad de superficie (método indirecto).
- Por niveles de concentración de contaminantes específicos.

En la práctica, el procedimiento de diseño más utilizado es el método indirecto basado en la ocupación. A partir de los valores de «tasa de ventilación por persona» de la Tabla 4, la superficie del local y la «densidad de ocupación por uso previsto» extraída de la tabla 2.1 del documento básico SI 3 del CTE sobre «evacuación de ocupantes», puede calcularse el caudal de aire de renovación para cada caso. Así pues, un local destinado a guardería con una superficie de 60 m² deberá diseñarse para aportar un caudal de:

$$q_v = 20 \text{ l/s} \cdot 60 \text{ m}^2 / 2 \text{ m}^2/\text{persona} = 600 \text{ l/s} = 0,6 \text{ m}^3/\text{s}$$

Por otro lado, para la gestión del sistema de ventilación, pueden emplearse los valores de concentración de CO₂. De este modo, al superar el umbral de 350 ppm (sobre la concentración de aire exterior), el caudal de ventilación será el nominal, mientras que en caso contrario, la tasa de ventilación se situará en un valor inferior de mantenimiento (0,3 renovaciones/h, p.ej.).

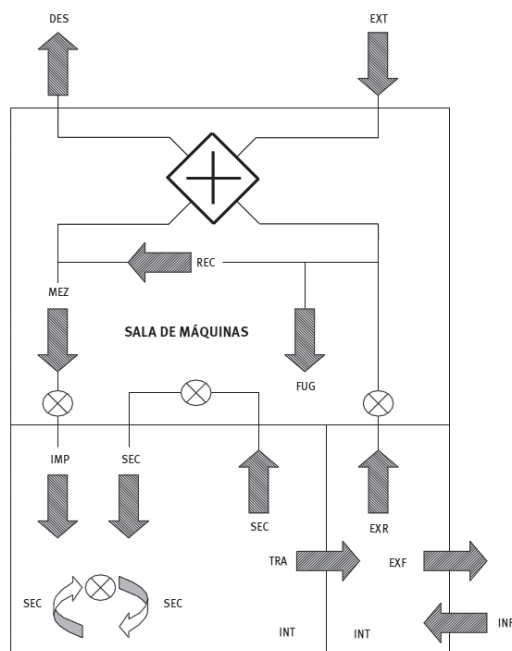
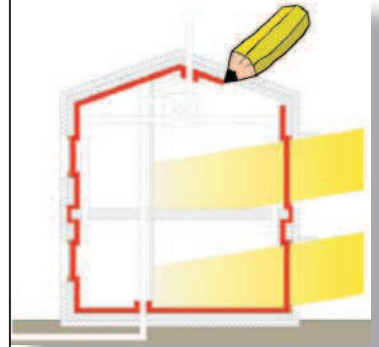
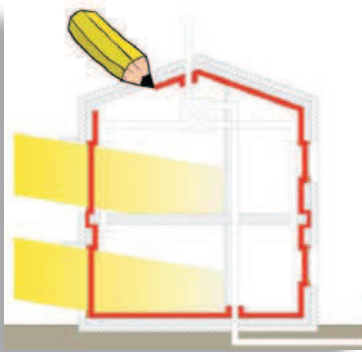


Figura 1. Incorporación del recuperador de calor.
Fuente: RITE (adaptación Alter Technica).

Según el apdo. 1.2.4.5.2 del RITE, la energía contenida en el aire expulsado por medios mecánicos de un sistema de climatización será parcialmente recuperada cuando el caudal de aire sea mayor que 0,5 m³/s. En el ejemplo anterior, el caudal de aire de expulsión, de igual valor que el caudal de aire de admisión, supera este valor con lo que es obligatorio el uso de un recuperador de energía.





9.2.4. Ventilación mecánica controlada de doble flujo – VMC2

Los huecos de extracción estarán constituidos por rejillas conectadas a la red de conductos de extracción, empleada para expulsar el aire viciado al exterior mediante procedimientos híbridos o mecánicos. Los huecos de admisión no tienen por qué estar conectados directamente con el exterior mediante rejillas en fachada o accesorios integrados en las carpinterías exteriores, sino que pueden ser los difusores de una segunda red de conductos de aire, denominada de impulsión o admisión. Cuando una instalación de ventilación dispone de dos redes de conductos, una de extracción y otra de admisión, se la denomina sistema de «*ventilación mecánica de doble flujo*».

Aunque el CTE impone para viviendas una ventilación continuada (24 h/día) con los valores mínimos indicados en la tabla 1, es posible la incorporación de sondas de humedad o calidad del aire, bien en ambiente, bien en los conductos de retorno, que controlen el funcionamiento del sistema mecánico de ventilación (extractor, compuertas, etc.), de modo que sólo esté en uso una vez se superen determinados umbrales de vapor, CO₂ o contaminantes.

Por otro lado, existen dispositivos mecánicos de regulación de caudal que actúan sin consumo eléctrico en función de la humedad interior, o simplemente limitan el caudal de aire. Estos dispositivos autónomos pueden incorporarse en la misma línea de conductos o estar integrados en las propias rejillas de extracción.

9.3. VENTILACIÓN Y PASSIVHAUS

Como caso particular y ampliación del apartado anterior, en todo tipo de edificios, el sistema de ventilación propuesto por Passivhaus se centra en aquellos de ventilación mecánica controlada de doble flujo, ya que presenta ciertas ventajas:

- Mejor estanqueidad al aire del edificio, al reducir las aberturas de admisión en fachadas.
- Mejor aislamiento acústico con el exterior por el mismo motivo. Se recomienda el uso de dispositivos fonoabsorbentes en la red de conductos interior.

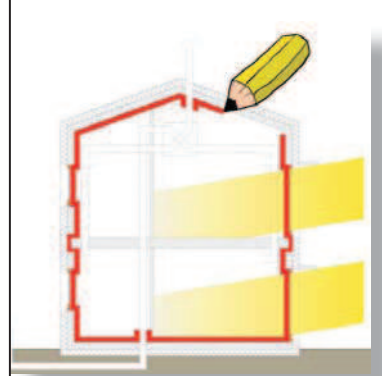
- Mejor calidad del aire de admisión debido a la posibilidad de incorporación de elementos de filtrado.
- Mejor calidad del aire interior debido al control continuado de los niveles de humedad y CO₂, eliminando malos olores así como la aparición de moho y condensaciones.
- Posibilidad de incorporar dispositivos de recuperación de calor.
- Posibilidad de atemperamiento del aire de admisión mediante el empleo de un intercambiador tierra/aire.
- Posibilidad de emplear el aire de renovación como vehículo calor-transportador.
- Control del caudal de aire, pudiendo variarlo entre valores mínimo, nominal y máximo.

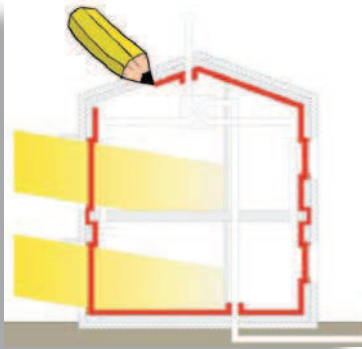
9.3.1. Conductos

Las redes de conductos de admisión y extracción son las encargadas de la distribución de aire de renovación hasta los locales secos, y la conducción del aire interior viciado hasta el exterior. Si entre ambas redes de conductos del sistema de doble flujo se intercala un recuperador de energía, los tramos entre este dispositivo y el exterior se denominan «conducto de aire exterior» y «conducto de expulsión».

El interior de los conductos deberá ser lo más liso posible, y la red será hermética y rígida, de modo que se cubran los requisitos de eficiencia energética (bajas pérdidas de carga), de acústica (sin ruido de circulación de aire), de higiene y de facilidad de limpieza.

Los conductos metálicos de costura helicoidal son más adecuados, presentando la ventaja añadida de no ionizar el aire, aspecto a veces polémico en aquellas instalaciones que pretenden minimizar la concentración electromagnética. En caso de optar por conductos de pared delgada de PVC u otros materiales plásticos, se pueden utilizar cableados de descarga para este propósito, aunque según los test de medición realizados es inusual que la concentración de iones en el aire se vea afectada por el uso del sistema de ventilación de confort, debido probablemente a los bajos caudales de aire, muy inferiores a los utilizados tradicionalmente para climatizar (calentar y enfriar) los edificios de uso residencial.





Guía del estándar Passivhaus

Existen conductos de sección circular, muy recomendables por su menor pérdida de carga; también ovales, rectangulares, etc. La conexión entre los distintos segmentos y accesorios se realiza mediante masillas y encintados especiales que garantizan el sellado. Los conductos se sujetan a las paredes y el techo con abrazaderas preferiblemente isofónicas, de modo que no transmitan vibraciones a la estructura del edificio.

Los conductos deberán estar adecuadamente aislados, siendo su espesor función de la diferencia de temperatura entre el flujo de aire de un tramo concreto y la del ambiente del espacio por el que circulan. En aquellos casos en los que existe riesgo de condensación, como la circulación de aire frío por un local de ambiente cálido, deberá emplearse materiales aislantes resistentes a la humedad.

9.3.2. Dimensionamiento

El estándar *Passivhaus* evalúa las necesidades de aporte de aire de renovación en función de la ocupación, bajo las siguientes consideraciones:

- El caudal de aire mínimo de renovación es de $30 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \text{persona}$.
- En el sector residencial, la ocupación estimada es de $1 \text{ persona}/30 \text{ m}^2$.
- Así pues, el caudal de aire mínimo de renovación será de $1 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \text{m}^2$, lo que equivale aproximadamente a unas renovaciones de $0,3 \text{ h}^{-1}$.

No obstante, se aconseja un dimensionamiento mínimo de ventilación para una ocupación de 2 personas/local, y/o $0,3 \text{ renovación/h}$.

Se puede regular el caudal en función de la ocupación o concentración de CO_2 , ya que es improbable que haya dos personas en cada habitación de la casa continuamente. Sin embargo, los dispositivos de control encarecen la instalación.

La siguiente tabla muestra caudales máximos aproximados a través de las secciones más comunes de conducto circular en su recorrido por zonas habitadas, tanto recomendadas por PH como por CTE. Este último permite velocidades de aire ligeramente superiores, de hasta

4 m/s, pudiendo llegar a duplicar los requerimientos de normas más exigentes en el caso de pequeñas secciones.

Tabla 5. Caudales de ventilación Passivhaus vs. CTE.

DN (mm)	SEGÚN PASSIVHAUS $q_{v,max}$ (l/s)	SEGÚN CTE $q_{v,max}$ (l/s)
100	15	30
125	30	50
160	60	80
200	105	125

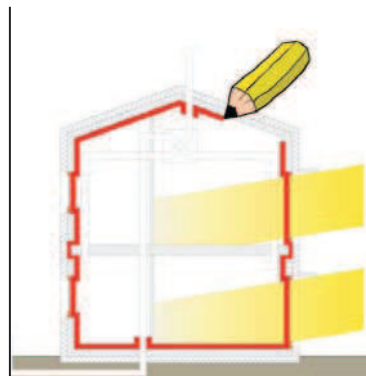
9.3.3. Control de la presión

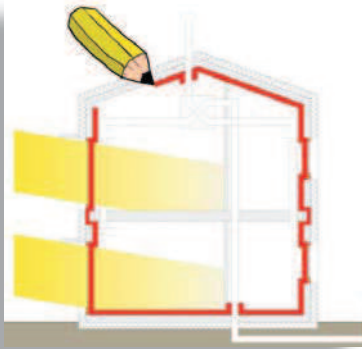
En ocasiones, se puede dar el caso de disponer de equipos cuyo funcionamiento consume aire interior, como es el caso de estufas de leña, pellets o bioalcohol, e incluso cocinas de gas. Si se ha realizado un gran esfuerzo en la hermeticidad del edificio, debe controlarse que la bajada de presión en el local debido al proceso de combustión no sea excesiva (<4 Pa), realizándose un control mediante sondas de presión diferencial.

También hay que tener en cuenta el empleo de sistemas accesorios de extracción, como los asociados a campanas extractoras de cocina o de aspiración centralizada de polvo, cuyo uso y elevados caudales pueden provocar importantes depresiones en las zonas habitadas. Además, y debido a esa misma depresión y por razones obvias, su uso no puede simultanearse con el de los sistemas de combustión atmosférica.

En el caso de disponer de alguno de los sistemas anteriores, se puede optar por alguno de los siguientes sistemas de equilibrado de presión.

Disponer de un hueco de admisión auxiliar, preferiblemente en las proximidades de la fuente de depresión, ya sea por combustión o aspiración. La función de este «aireador» auxiliar será la de cortocircuitar el aporte de aire/oxígeno mediante una fuente adicional. El control sobre el aporte de caudal exterior auxiliar puede realizarse mediante un sistema automático, mediante válvulas motorizadas y





Guía del estándar Passivhaus

sondas de presión diferencial, o bien manual mediante la apertura de ventanas (p. ej.).

9.3.4. Control de la humedad

Este punto es muy importante en la adaptación del estándar *Passivhaus* a nuestra climatología española, ya que uno de los argumentos polémicos que manejan con más soltura algunos detractores mal informados, es precisamente que *Passivhaus* es un estándar sólo viable en los climas centroeuropeos de donde es originario, e inadecuado para el clima español. Sin restar importancia a las bondades de las disciplinas bioclimáticas y de ventilación natural, se intentarán exponer brevemente las cualidades de las técnicas «Passiv» en el control de la humedad.

El propio metabolismo humano y actividades domésticas como la cocción de alimentos, el lavado de ropa o el aseo, así como otras fuentes de vapor como el procedente de plantas de interior, son los responsables de que en un hogar promedio de cuatro ocupantes se generen hasta 15 litros de vapor de agua al día. En invierno el control de humedad se podrá realizar mediante la propia ventilación mecánica. Sin embargo, en climas meridionales existe la posibilidad de que la ventilación no sea suficiente, pudiendo llegar a ser un factor de incremento de la humedad y debiendo recurrirse a otros medios desecantes.

Se recuerda en este punto, que la humedad relativa es un parámetro que indica el porcentaje de vapor de agua que cabe en una muestra de aire a una temperatura concreta. La expresión «30% de humedad relativa» sólo indica que en esa muestra de aire aún cabe otro 70% adicional de vapor de agua, siendo un valor que por sí solo es insuficiente, ya que la cantidad de vapor que es capaz de almacenar el mismo volumen de aire varía enormemente en función de la temperatura, o de cualquier otra variable psicrométrica.

En realidad, el control de la humedad es también un control de la presión, ya que el valor sobre el que deseamos actuar no es la «humedad relativa», sino más bien la «humedad específica», que es función directa de la «temperatura de rocío» o de la «presión de vapor».

Dado que una amplia porción de la geografía española goza de un clima seco continental, los sistemas de ventilación mecánica con-

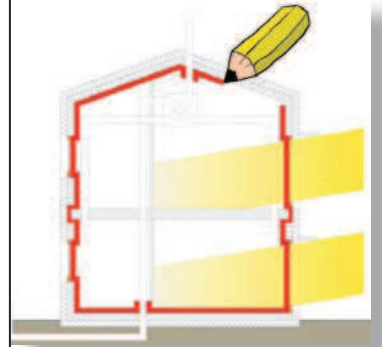
trolada de doble flujo en edificios Passivhaus se presentan como un método inmejorable para el control de la humedad, aunque en casos concretos será necesaria la deshumectación. En cualquier caso y también por este motivo, se evitará en lo posible el sobredimensionamiento de los sistemas de ventilación.

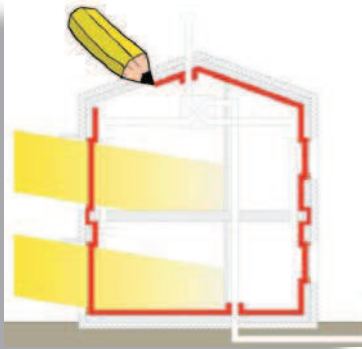
Existe la creencia popular de que la humedad es un factor determinante en el confort. Sin embargo, de entre los parámetros que afectan al confort térmico humano es probablemente el que admite variaciones más significativas sin afectar a nuestro bienestar, pudiendo modificar su valor entre un 40% y un 60% sin que seamos capaces de percibirlo. No deben superarse los límites inferior y superior del 30% y el 70%.

Las condiciones de vida de ácaros, mohos y bacterias mejoran con niveles de humedad relativa superiores al 50%, así como la aparición de condensaciones intersticiales. Valores inferiores al 40% pueden provocar sequedad en nuestras membranas mucosas, especialmente si existe una elevada concentración de polvo. Los tradicionales sistemas de calefacción y refrigeración por convección también provocan esa sequedad.

En invierno es habitual que la humedad específica del aire exterior sea muy baja comparada con otras estaciones, especialmente en zonas de climas frío continental (frío seco), pudiendo conseguir valores más altos de humedad mediante un incremento en la estanqueidad del edificio y una tasa de ventilación reducida que permita mantener más tiempo la humedad generada en el interior, así como la incorporación de técnicas naturales o artificiales de humectación, como el uso de plantas de interior o de algún sistema de humidificación mecánica.

Al contrario, en aquellas zonas de clima húmedo templado como las correspondientes a la franja costera del Mediterráneo, la humedad específica del aire exterior en verano puede alcanzar valores que lo hagan inadecuado al confort térmico humano (calor húmedo) incluso mediante técnicas exclusivas de reducción de la carga sensible del aire. En este caso está nuevamente indicada la estanqueidad del edificio y una baja tasa de ventilación, que aísle adecuadamente el ambiente exterior del interior que se va a acondicionar mediante la acción desecante de un circuito frigorífico (p.ej.) u otras técnicas alternativas de refrigeración.





9.3.5. Algunos conflictos

Además de lo esbozado en el punto relativo al «control de presión» sobre el uso de equipos de combustión, se pueden presentar algunos conflictos en las instalaciones de ventilación mecánica:

1. **Caudales de aire:** Existe un conflicto entre la exigencia de salubridad del CTE HS 3 y *Passivhaus* respecto a los caudales de aire mínimos, representando 0,8 renovaciones/h aproximadamente en el primer caso y 0,3 renovaciones/h en el segundo. Lógicamente, un mayor caudal de aire lleva asociada una menor eficiencia energética y una mayor salubridad. Un modo de enfrentarse a este conflicto es mediante sistemas de control del caudal, basados en la humedad y de calidad del aire.
2. **Campana de extracción de humos en cocina:** Se usan para eliminar malos olores y para filtrar la grasa del aire de extracción. Su uso es independiente de la ventilación de confort. No obstante, la situación de una rejilla de la red de extracción en las proximidades de la campana extractora bastará para atenuar los olores procedentes de la cocción.

No se recomienda el uso combinado de la campana extractora con un recuperador de calor, debido a que la cantidad de aire es muy superior a la de renovación de aire. Uno de los mecanismos de aprovechamiento de la energía de la cocina se basa en el empleo de filtros de carbón activo con recirculación del flujo de aire de nuevo a la cocina, con lo que no existen problemas de diferencias de presión. En este caso, el aire viciado no es expulsado al exterior, reteniéndose grasas y olores en el filtro.

Si se opta por la expulsión de los humos de cocina al exterior, deberá preverse también un acceso auxiliar de aire, conectado automáticamente con la campana extractora, de modo que no se originen depresiones. El acceso de este nuevo flujo de aire primario se preverá en las proximidades de la campana, de modo que forme un circuito lo más cerrado posible con el flujo de extracción, perdiéndose la menor cantidad de energía térmica. La versión manual de esta opción es la apertura de una ventana próxima. Frente al filtro de carbón, esta solución presenta la ventaja de no tener que disipar la carga térmica en verano, aunque no se reaproveche en invierno.

Las recomendaciones sobre presión anteriores también son válidas en el caso de sistemas de aspiración centralizada, y circunstancias de aglomeración excesiva de personas, de carácter excepcional.

9.4. CLIMATIZACIÓN

En los edificios *Passivhaus*, donde la demanda anual tanto en calefacción como en refrigeración debe ser inferior a $15 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{a}$, con unas potencias térmicas instaladas del orden de 10 W/m^2 , el análisis de la climatización debe realizarse desde una nueva perspectiva, que permita el empleo de una escala distinta. En este punto se expondrán algunos sistemas de climatización relacionados directamente con la ventilación.

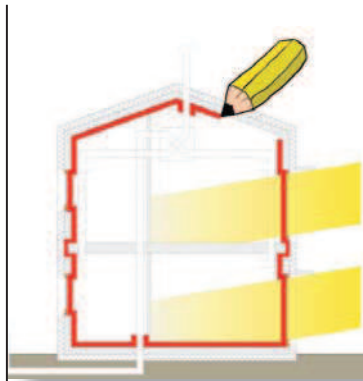
Antes de proseguir y aunque no sea objeto de este capítulo, es necesario realizar la observación de que son pocos los profesionales involucrados en el diseño o ejecución de instalaciones de climatización que sepan evaluar de forma coherente los parámetros del confort térmico humano. Actualmente en España, la mayoría de los sistemas de climatización se dimensionan en torno a un único pilar central que es la temperatura seca del aire, no empleando parámetros del confort tanto o más importantes. La comprensión de la norma EN 7730 basada en los desarrollos de Fanger puede aportar a los profesionales una nueva perspectiva de dimensionamiento de instalaciones en edificios de consumo de energía casi nulo.

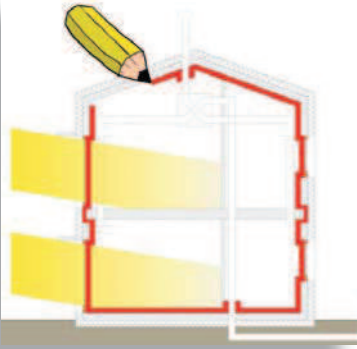
9.4.1. Esquema básico

Se representarán los distintos componentes sobre un esquema alternativo. Este esquema básico implementa un sistema de ventilación mecánica controlada de doble flujo con recuperador de calor de alta eficiencia.

El dispositivo de recuperación de energía incluye en un mismo mueble, adecuadamente aislado, un intercambiador aire/aire y dos ventiladores de alta eficiencia, así como elementos de filtrado de los dos flujos de aire que intervienen.

Los intercambiadores aire/aire serán de muy alto rendimiento en la recuperación de energía sensible, llegando a alcanzar valores que su-





peran el 85%. Los más empleados, de forma hexagonal, son recuperadores estáticos de flujos paralelos a contracorriente, con una elevada superficie de intercambio.

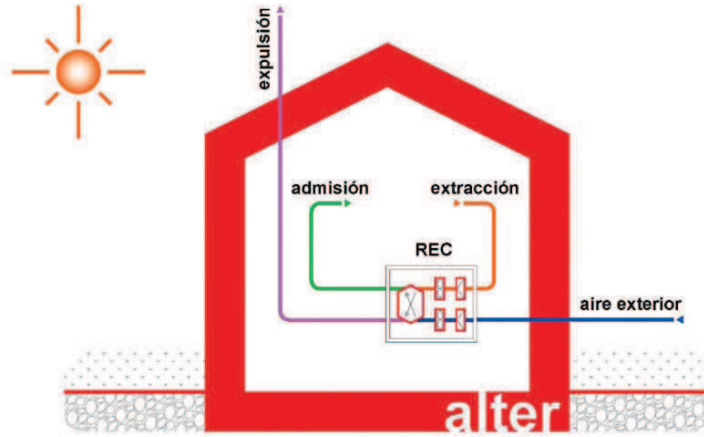


Figura 2. Esquema básico VMC con recuperación.

No existe intercambio de masa entre los flujos de aire entrante y saliente, sólo de energía. A modo de ejemplo, suponiendo un rendimiento en la recuperación del 90% sobre la energía sensible, y unas temperaturas exterior e interior de 0 °C y 20 °C ($T^a_{\text{exterior}} = 0\text{ °C}$ y $T^a_{\text{extracción}} = 20\text{ °C}$), la temperatura del aire de impulsión y de expulsión serán:

$$T^a_{\text{admisión}} = (20\text{ °C} - 0\text{ °C}) \cdot 0,9 = 18\text{ °C}$$

$$T^a_{\text{expulsión}} = (20\text{ °C} - 0\text{ °C}) \cdot 0,1 = 2\text{ °C}$$

Suponiendo que la temperatura de consigna para confort sea 20 °C, tan sólo será necesario calentar el aire de admisión en 2 °C, (20 °C – 18 °C), en vez de tener que calentarlo 20 °C, (20 °C – 0 °C).

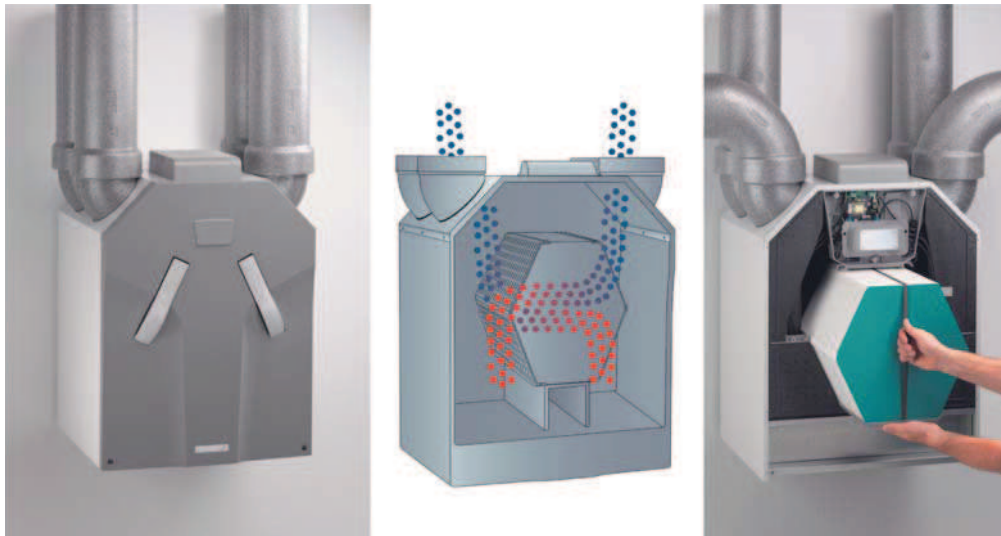
Sobre este simple ejemplo se deben hacer las siguientes observaciones:

- Los conductos de aire exterior y de expulsión pueden transportar aire a muy bajas temperaturas, por lo que en sus recorridos por locales climatizados deben estar adecuadamente aislados para evitar pérdidas térmicas y condensaciones.
- Los conductos de admisión transportarán aire a temperatura ligeramente inferior a la existente en el interior. No obstante, el aislamiento se debería dimensionar de modo que esta red específica de conduc-

La ventilación mecánica con recuperación de calor: la garantía de calidad del aire interior

tos pueda vehicular aire de impulsión a una temperatura superior (50 °C aprox.) de modo que pueda usarse como sistema de calefacción.

- Tanto los conductos de admisión como los de extracción del aire viciado deberán aislarse adecuadamente en los recorridos por el exterior o por locales no climatizados.

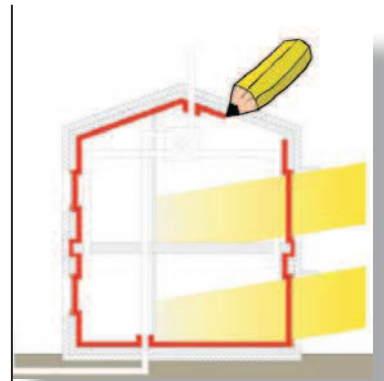


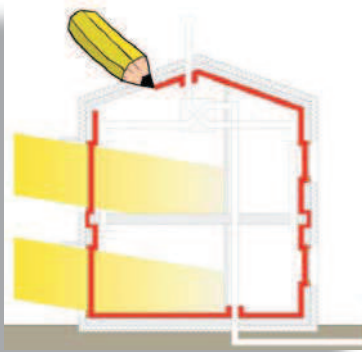
Fotografía 1. Recuperador de calor: el intercambiador aire/aire, ventiladores de admisión y expulsión de alto rendimiento, filtros y sistema de control, se integran en un mismo mueble muy bien aislado y de alta hermeticidad.

El rendimiento exacto de los recuperadores, dependerá de los caudales de aire. En términos absolutos, la energía recuperada durante la operación de estos dispositivos será muy dependiente del salto térmico entre exterior e interior. Dicho de otro modo, cuanto más baja sea la temperatura exterior, mayor será la cantidad de energía recuperada. Sin embargo, en verano, las diferencias medias de temperatura serán usualmente más bajas, así como la recuperación, por lo que es práctica habitual by-pasear el recuperador en la estación estival de modo que se aproveche mejor el efecto de la ventilación nocturna, en condiciones de temperatura del aire exterior inferiores a la del interior.

9.4.2. Intercambiador tierra/aire

Tiene sus orígenes en los conocidos «pozo canadiense» y «pozo provenzal». Se trata de una conducción de aire enterrada, que sustituye el acceso de aire exterior, de modo que el aire de renovación se





atempera mediante intercambio térmico con el terreno, de temperatura más estable que el propio aire exterior, antes de la entrada en el equipo recuperador de energía.

En la Fig. 3 se representa nuestra casa alternativa anterior a la que se ha implementado un intercambiador tierra/aire. Mediante el empleo de compuertas, manuales o motorizadas, se puede hacer uso del citado intercambiador, o bien by-pasearlo tomando el aire directamente del exterior.

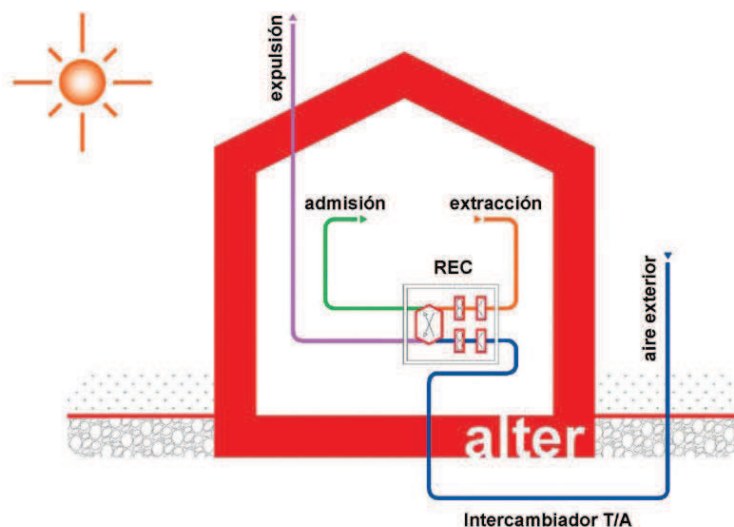


Figura 3. VMC con recuperación e intercambiador tierra/aire.

En verano, el efecto de enfriamiento de la tierra refrescará el ambiente interior, mientras el recuperador está en modo by-pass, pudiendo llegar a cubrir totalmente las necesidades térmicas de edificios de baja demanda de energía

En invierno, el atemperamiento del aire de entrada al recuperador, debido al uso del intercambiador T/A, proporciona la protección contra la congelación que necesita el recuperador, así como un nivel de energía más elevado en el aire de expulsión.

Los intercambiadores T/A están compuestos por conducciones de polipropileno, acero galvanizado u otros materiales impermeables al aire y al agua, evitando así el acceso del gas radón al flujo de aire de renovación. Las conducciones deberán ser resistentes a la corrosión por contacto directo con el terreno, y se las aplicará una pendiente mínima del 2% de modo que se posibilite la evacuación de condensados.

La siguiente tabla muestra las secciones nominales y longitudes aproximadas para los caudales de renovación más habituales en residencias.

Tabla 6. Dimensionamiento de intercambiadores T/A.

CAUDAL (m ³ /h)	DN (mm)	LONGITUD DEL INT. T/A (m)
$q_v < 125$	160	25
$125 < q_v < 200$	200	30
$200 < q_v < 300$	250	35

Los intercambiadores pueden configurarse en malla o en anillo, en función de la superficie de terreno útil para intercambio de que se disponga.

9.4.3. Aporte de energía en el conducto de admisión

Como ya se ha visto, la drástica reducción de la demanda energética en los edificios *Passivhaus* puede permitir que la energía necesaria para obtener el confort térmico de sus ocupantes use el pequeño caudal de aire de renovación como vehículo caloportador.

Para los caudales propuestos para este estándar constructivo, de 1 m³/h·m², la potencia térmica de calefacción que puede vehicularse es de 10 W/m² aproximadamente, siendo la potencia térmica para refrigeración similar a un tercio de ese valor. Por supuesto, caudales superiores al anterior, guardan relación directa con la capacidad de energía a transportar.

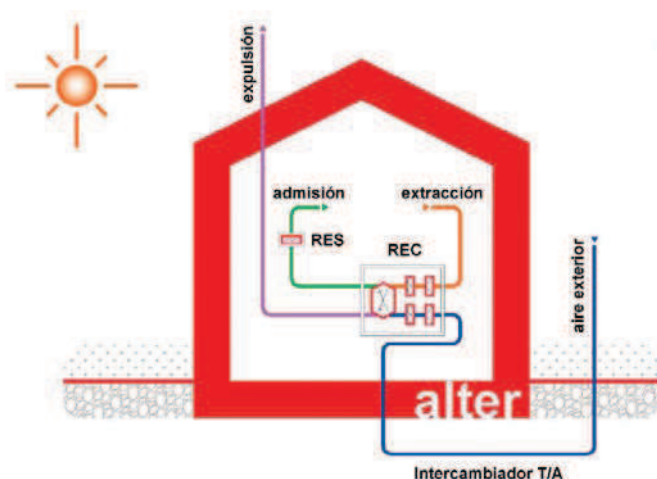
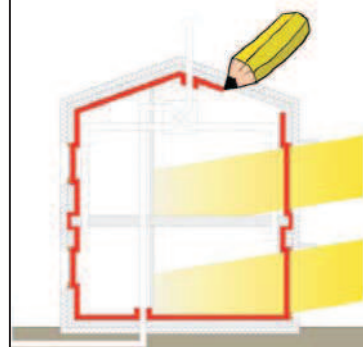
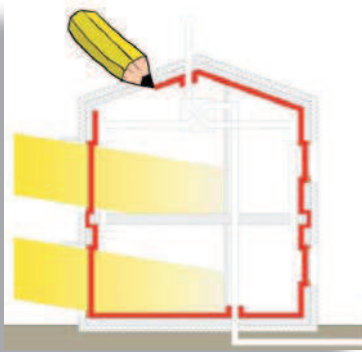


Figura 4. VMC con recuperación y resistencia eléctrica.





Guía del estándar Passivhaus

Uno de los dispositivos que llaman la atención en *Passivhaus*, es la resistencia eléctrica (RES) en línea del flujo de admisión. Este elemento de baja eficiencia energética parece estar fuera de contexto en edificios de consumo de energía casi nulo.

Una vez más, es importante entender que el uso de la resistencia eléctrica como sistema de calefacción se verá limitado a cortos intervalos de tiempo debido a la especial envolvente del edificio, lo que hace que el diseñador se plantee su incorporación a causa de su bajo coste y su escaso uso.

Por supuesto, esta resistencia eléctrica se puede sustituir por otros accesorios de mayor eficiencia energética, como es el caso de baterías de agua caliente o fría procedente de fuentes tales como bomba de calor, caldera de biomasa o de condensación.

9.4.4. Calentador termodinámico

Una minibomba de calor de elevada eficiencia puede extraer calor del aire de extracción, reduciendo su temperatura hasta -5°C aprox. y aportándosela a un tanque de agua sanitaria aislado.

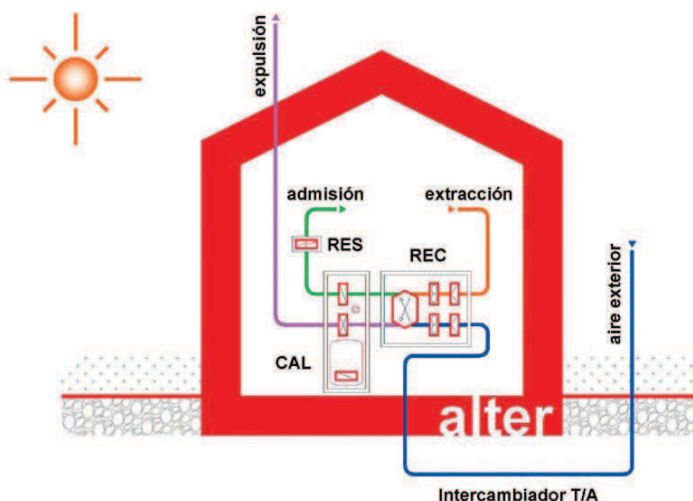


Figura 5. VMC con recuperación, resistencia y calentador termodinámico.
Fuente: Alter Technica.

En un mismo mueble (CAL) se alojan el depósito de ACS, de unos 200 l, y la bomba de calor. Algunos modelos incorporan también el ventilador de aire de extracción. Estos equipos pueden emplearse también

como deshumectador y refrigerador de aire en verano, partiendo de una fuente de energía estable que es la contenida en el aire de extracción. Este hecho, al igual que en los sistemas geotérmicos, confieren al sistema de unos rendimientos muy elevados, pudiendo cubrirse la demanda de ACS en gran parte mediante modestas instalaciones fotovoltaicas.

9.5. NORMATIVA DE REFERENCIA

- **CTE – HE 2 (RITE).** Exigencia básica HE 2: Rendimiento de las instalaciones térmicas (Reglamento de Instalaciones térmicas de edificios).
- **CTE – HS 3.** Exigencia básica HS 3: Calidad del aire interior.
- **EN 13779.** Ventilación de edificios no residenciales. Requisitos de prestaciones de sistemas de ventilación y acondicionamiento de recintos.
- **EN 13790.** Eficiencia energética de los edificios. Cálculo del consumo de energía para calefacción de espacios.
- **EN 13792.** Comportamiento térmico de los edificios. Cálculo de la temperatura interior de un local sin refrigeración mecánica en verano. Métodos simplificados.
- **EN 15251.** Parámetros del ambiente interior a considerar para el diseño y la evaluación de la eficiencia energética de edificios, incluyendo la calidad del aire interior, condiciones térmicas, iluminación y ruido.
- **13141-7.** Ventilation for buildings. Performance testing of components/products for residential ventilation. Performance testing of a mechanical supply and exhaust ventilation units (including heat recovery) for mechanical ventilation systems intended for single family dwellings.
- **EN 13829.** Determinación de la estanqueidad al aire en edificios. Método de presurización por medio de ventilador.
- **Directiva 2010/31/UE** del Parlamento Europeo y del Consejo, relativa a la eficiencia energética de los edificios.

