



MEJORA DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LA ENVOLVENTE Y RENOVACIÓN DE LAS INSTALACIONES TÉRMICAS



GUÍA PARA LA REHABILITACIÓN ENERGÉTICA
DEL PARQUE RESIDENCIAL EXISTENTE

FUNDACIÓN
musaat

MEJORA DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LA ENVOLVENTE Y RENOVACIÓN DE LAS INSTALACIONES TÉRMICAS



Guía para la rehabilitación
energética del parque
residencial existente

Joaquín Antonio López Davó

Gemma Vázquez Arenas

Julián Pérez Navarro

FUNDACIÓN
musaat

Este texto ha sido sometido a evaluación por expertos por recomendación de la Editorial.

1.^a edición: abril 2024.

© de textos y fotografías

Los autores: Joaquín López Davó, Gemma Vázquez Arenas y Julián Pérez Navarro.

© de imágenes y dibujos

Autora: Isabel González Juan.

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

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

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

DEPÓSITO LEGAL: M-9582-2024

ISBN: 978-84-09-60525-5

El presente documento ha sido promovido y editado por la Fundación MUSAAT.

Reservados todos los derechos. No se permite la reproducción total o parcial de esta obra, ni su incorporación a un sistema informático, ni su transmisión en cualquier forma o por cualquier medio (electrónico, mecánico, fotocopia, grabación u otros) sin autorización previa y por escrito de los titulares del copyright. La infracción de dichos derechos puede constituir un delito contra la propiedad intelectual.

Prólogos	7
D. Carlos Marmolejo Duarte	7
Dña. Marta Monzón Chavarrías	9
D. Juan López-Asiain Martínez	11
Introducción	13
Capítulo 1. Conceptos básicos sobre rehabilitación energética	15
1.1 Marco teórico y legislativo. antecedentes y tendencias futuras	15
1.2 Conceptos básicos en eficiencia energética.	17
1.3 Definición de la envolvente térmica en el contexto del CTE y de las nuevas directivas contra el cambio climático.	22
1.3.1 Criterios de definición de la envolvente térmica del edificio.	22
1.3.2 Clasificación de los espacios	24
1.3.3 Parámetros característicos de la envolvente térmica	25
1.4 Definición de edificio de consumo de energía casi nulo (EECN)	27
1.4.1 Criterios de aplicación del CTE a edificios existentes	28
1.4.2 Estrategias para mejorar el balance energético de un edificio. Consecución de edificios EECN.	29
1.4.2.1 Estrategias para reducir la demanda energética	30
1.4.2.2 Estrategias para disminuir el consumo de energías no renovables	33
Capítulo 2. Diagnóstico y rehabilitación de la envolvente opaca del edificio	37
2.1 Limitaciones energéticas en la envolvente térmica	37
2.1.1 Determinación de la transmitancia térmica de los cerramientos en contacto con el exterior (U_E).	38
2.1.2 Transmitancias térmicas existentes frente a transmitancias térmicas estimadas o por defecto.	40
2.2 La toma de datos. utilización de técnicas y aparatos para el análisis del comportamiento energético	44
2.2.1 Datos necesarios para la rehabilitación energética	44
2.2.2 Herramientas para las tomas de datos. Determinación de la composición y transmisión de los cerramientos existentes	45
2.3 Evaluación del comportamiento energético de la envolvente existente	47
2.3.1 Análisis del coeficiente global de transmisión de calor K	47
2.3.2 Puesta en consideración de la inercia térmica del edificio	51
2.4 Determinación de los puentes térmicos. Análisis y posibles soluciones	52
2.5 Consideraciones para la rehabilitación energética de los cerramientos que conforman la envolvente	55

Capítulo 3. Soluciones constructivas de aislamiento térmico 57

3.1	Materiales aislantes. tipologías, características y usos	57
3.1.1.	Fibra de vidrio	58
3.1.2	Lana mineral	58
3.1.3	Arcilla expandida.	59
3.1.4	Vidrio celular.	59
3.1.5	Poliuretano expandido.	59
3.1.6	Poliestirenos	60
3.1.6.1	Poliestireno expandido, EPS	60
3.1.6.2	Poliestireno extruido, XPS	60
3.1.7	Aislantes reflexivos	61
3.1.8	Aislantes naturales	61
3.1.8.1	El algodón y otros aislantes de origen textil	61
3.1.8.2	Aislantes de origen vegetal	62
3.1.8.3	El corcho	62
3.1.8.4	Lana de oveja	62
3.2	La posición del aislamiento térmico en las soluciones constructivas.	64
3.2.1	Aislamiento exterior	64
3.2.2	Aislamiento intermedio	65
3.2.3	Aislamiento interior	65
3.3	Rehabilitación de sistemas de envolvente térmica por el exterior	65
3.4	Rehabilitación de sistemas de envolvente térmica mediante el rellenado de cámaras	70
3.5	Rehabilitación de sistemas de envolvente térmica por el interior	72

Capítulo 4. Rehabilitación de los huecos en el edificio 75

4.1	Determinación de las propiedades de las carpinterías. Transmitancias térmicas y permeabilidad	75
4.2	Propiedades del marco en las carpinterías	75
4.3	Vidrios. Características, propiedades, selección y usos	77
4.4	Cálculo de la transmitancia del hueco.	79
4.5	Soluciones de rehabilitación energética de la carpintería	81

Capítulo 5. Protecciones solares en huecos	83
5.1 El parámetro de control solar según el código técnico de edificación	83
5.2 Protecciones solares. Tipologías, selección y usos	84
5.2.1 Tipología en función de su localización en el hueco.	84
5.2.2 Tipología en función de su forma.	85
5.2.2.1 Protecciones fijas	85
5.2.2.2 Protecciones móviles	86
5.3 Las protecciones solares en rehabilitación	87
Capítulo 6. Hermeticidad de la envolvente.	89
6.1 Permeabilidad al aire de los materiales y difusión del vapor	89
6.2 Determinación de la estanqueidad al aire de la envolvente térmica	91
Capítulo 7. La ventilación en la rehabilitación energética	93
7.1 Antecedentes y exigencias normativas en las instalaciones de ventilación	93
7.1.1 Recorrido de la ventilación general en una vivienda.	94
7.2 Sistemas de ventilación. tipologías, características y condicionantes de diseño.	94
7.2.1 Sistemas de ventilación natural.	94
7.2.2 Sistemas de ventilación híbrida.	95
7.2.3 Sistemas de ventilación mecánica	96
7.3 Sistemas de ventilación mecánica con recuperador de calor, eficiencia energética y salubridad	96
7.4 Análisis de la ventilación existente y propuestas de mejora	97
Capítulo 8. Rehabilitación de las instalaciones de calefacción	101
8.1 Principios básicos de las instalaciones de calefacción convencional	101
8.2 Partes de las instalaciones de calefacción convencional	103
8.2.1 Tipos de trazado de la red de distribución del fluido caloportador	104
8.2.2 Tipos de calderas	105
8.2.3 Elementos emisores. Disposición y características.	106
8.3 Cargas a considerar en el diseño y rehabilitación de las instalaciones de calefacción	107
8.4 Incorporación o rehabilitación energética de los sistemas de calefacción	109
8.4.1 Sustitución de los sistemas de producción de calor.	109
8.4.1.1 Rehabilitación de sistemas de calefacción mediante bombas de calor de alta eficiencia	110
8.4.2 Cambio del sistema de distribución de agua caliente	114
8.4.3 Sustitución de los emisores.	114
8.4.4 Sistemas de calefacción por suelo radiante	115

Capítulo 9. Rehabilitación de las instalaciones de aire acondicionado 117

9.1	Principios básicos de las instalaciones de acondicionamiento de aire	117
9.1.1	Componentes principales de las máquinas frigoríficas	118
9.1.2	Clasificación de los equipos según el sistema de refrigeración de las baterías	120
9.1.2.1	Coeficientes de eficiencia energética en una máquina frigorífica.	121
9.2	Cargas a considerar en el diseño y rehabilitación en una instalación de aire acondicionado . .	122
9.3	Pequeños y medianos sistemas de aire acondicionado.	125
9.4	Incorporación y rehabilitación energética de sistemas de climatización	129
9.4.1	Actuaciones de rehabilitación energética en pequeños sistemas de aire acondicionado	130
9.4.2	Actuaciones de rehabilitación energética en medianos sistemas de aire acondicionado	130

Capítulo 10. La implantación de energías renovables en la rehabilitación energética 133

10.1	Las energías renovables. Definición y características	133
10.2	Las instalaciones solares térmicas. Características y conceptos básicos para su implantación en edificación existente.	134
10.2.1	Sistemas de instalación con aporte solar térmico para ACS	134
10.2.1.1	Esquemas Tipo	134
10.2.1.2	Configuraciones multifamiliares.	136
10.2.1.3	Configuraciones individuales	137
10.2.2	Los captadores solares. Tipologías y consideraciones.	138
10.2.2.1	Instalación de los colectores solares	139
10.2.3	Aporte solar térmico para instalaciones de calefacción	141
10.3	Las instalaciones fotovoltaicas y el autoconsumo eléctrico	142
10.3.1	Consideraciones en la implantación de instalaciones fotovoltaicas.	144
10.3.1.1	Consideraciones en el dimensionado de instalaciones fotovoltaicas	145
10.3.2	El uso de las instalaciones fotovoltaicas	147

Bibliografía 149

Autores. 155

Se trata de un trabajo que, de forma sencilla y sólida a la vez, aporta los criterios de actuación tanto en los elementos pasivos como activos que conducen a mejorar la eficiencia energética de las edificaciones. El libro, constituye una obra de gran utilidad aplicada por cuanto traslada al campo de la rehabilitación las prescripciones del Código Técnico de la Edificación. Y para ello, se vale de ejemplos prácticos con una gran prevalencia en las tradiciones edificatorias de nuestro país, y en concreto a las de índole residencial. Además, utiliza un apoyo gráfico sumamente cuidado que de forma muy ilustrativa permite, incluso a los lectores no especialistas, comprender los principios termodinámicos que subyacen en el comportamiento energético de los edificios y, sobre todo, las soluciones constructivas y tecnológicas que existen en el mercado para avanzar hacia su optimización. Considero que es un trabajo de consulta obligada tanto para los profesionales en ejercicio como para los estudiantes de las carreras técnicas relacionadas con la edificación. Desde una perspectiva académica, además, el trabajo contiene una amplia bibliografía que permite acudir a fuentes primarias, como vía para acrecentar el conocimiento.

D. Carlos Marmolejo Duarte

Catedrático de la ETS de Arquitectura de Barcelona
Universidad Politécnica de Cataluña

Nos encontramos en un momento crucial de transformación. La conciencia sobre el cambio climático ha cobrado fuerza y nos hemos dado cuenta de nuestra responsabilidad en él, así como de nuestra capacidad para mitigarlo.

Concretamente en el sector de la construcción, estamos experimentando una verdadera revolución de magnitud similar a otras que hemos presenciado en el pasado. En esta ocasión, la revolución nos adentra en la era de la energía. Los profesionales del sector debemos estar preparados y formados en los conocimientos necesarios para sumarnos a esta tendencia.

Estamos modificando la manera en que concebimos y construimos edificaciones. Muchas de las técnicas y sistemas tradicionales ya no son viables, ya que no garantizan una eficiencia energética adecuada en los edificios. Estos cambios, que no son fáciles de implementar, requieren de todo el apoyo posible.

Si bien es cierto que esta nueva perspectiva en el diseño y construcción de edificaciones está más asentada en los proyectos de obra nueva, la situación cambia cuando nos enfrentamos a la rehabilitación de edificios existentes. En este caso, nos encontramos con un entorno construido, materiales antiguos, escasa documentación técnica, y posiblemente, condiciones sociales y económicas de los clientes que imponen aún más limitaciones a la intervención.

Europa ha establecido unos objetivos de neutralidad climática para 2050. El desafío es importante ya que, de acuerdo con los datos de la Unión Europea, al menos el 75% de los edificios actuales tiene un bajo comportamiento energético y se estima que entre el 85 y el 95% de ellos continuarán en uso en 2050. De mantenerse la tasa actual de rehabilitación situada por debajo del 1%, supondría la descarbonización del sector en cientos de años. Si queremos alcanzar nuestros objetivos para 2050, esta tasa deberá incrementarse significativamente.

En todos estos aspectos mencionados, esta guía supone un papel fundamental. Este documento representa una guía exhaustiva para afrontar las rehabilitaciones de edificios con el objetivo de mejorar su comportamiento energético. El enfoque en este sentido es completo. En primer lugar, expone los conceptos básicos necesarios para poder comprender el resto de la guía y aborda estrategias generales para mejorar el comportamiento energético de los edificios. Después, se centra en estrategias concretas, diferenciando entre soluciones pasivas, como es la rehabilitación de la envolvente, y soluciones activas, como es la rehabilitación de las instalaciones de los edificios. En cada caso, se enfrenta al tema de forma muy detallada, y poniendo ejemplos de casos prácticos, lo que ayuda a comprender y afianzar los conceptos.

Por último, este documento ayuda a fomentar el compromiso y la responsabilidad tanto de los usuarios como de los técnicos en las rehabilitaciones energéticas, adaptando las intervenciones a las necesidades específicas de cada edificio y evitando soluciones estándar que no consideren las características individuales de cada caso.

Esta guía se presta como manual de cabecera para técnicos, que pueden encontrar información práctica para este tipo de intervenciones. Pero también puede ser un documento de consulta para otras personas implicadas sin formación técnica que quieran ampliar conocimientos en la materia, familiarizarse con los procesos de rehabilitación energética o conocer los beneficios reales de estas intervenciones. Se trata, por tanto, de un documento que contribuye al fomento de la rehabilitación energética de edificios residenciales existentes, propiciando tanto el aumento de la tasa como la calidad de las adecuaciones.

Termino agradeciendo a los promotores y autores de esta guía, por su contribución en la descarbonización del sector residencial. De la misma manera, agradezco a todos los lectores, ya que si están leyendo este documento tienen un compromiso con el sector y ánimo a su implementación y puesta en práctica.

Dña. Marta Monzón Chavarrías

Profesora Titular de la Escuela de Ingeniería y Arquitectura
Universidad de Zaragoza

Me gustaría manifestar mi más sincera felicitación a los autores de esta guía y a la iniciativa de la Fundación Musaat para su realización. Es una guía muy completa, que abarca todas las posibilidades de mejora energética de los edificios existentes, tanto en la reducción del consumo y mejora de la envolvente, como en la incorporación de instalaciones de mayor eficiencia y energías renovables.

Pienso que los profesionales de la Arquitectura Técnica encontrarán en esta guía respuesta a muchas cuestiones relevantes de la rehabilitación y que además puede ser una fantástica herramienta para la formación y especialización en esta área de conocimiento.

Sin duda, en el futuro y debido a una serie de compromisos tanto nacionales como europeos, la rehabilitación energética del parque edificado aumentará su actividad exponencialmente. Ya que, sin intervenir en lo ya construido, solo mejorando los nuevos edificios, será imposible alcanzar los niveles de reducción de emisiones y consumo de energía primaria no renovable comprometidos. Por esto veremos en los próximos años muchas iniciativas similares a los fondos Next Generation, y también otras más coercitivas que potenciarán la rehabilitación.

Esta rehabilitación tendrá que obedecer a la reducción de emisiones y consumos de energía, algo de lo que los profesionales de la Arquitectura Técnica podrán dar buena respuesta, gracias a su conocimiento de los edificios y a recursos como esta guía. Pero no podemos dar solo respuesta a esta reducción de consumo, sino también a la necesaria mejora de un parque edificado muy envejecido y con muchas carencias, consiguiendo así mejorar la vida de las personas a través del espacio donde pasan la mayor parte de su tiempo, los edificios, y a esto también pueden y deben dar respuesta los técnicos.

D. Juan López-Asiain Martínez

Profesor de la Escuela Técnica Superior de Edificación de Madrid
Universidad Politécnica de Madrid
Gabinete Técnico del Consejo General de la Arquitectura Técnica de España

La rehabilitación del parque existente de edificios es un hecho ya inaplazable, dado que los objetivos de la Unión Europea para la edificación, pasan por lograr la neutralidad de emisiones de CO₂ para 2050 y limitar el calentamiento global a un máximo de 1,5 °C. La neutralidad de carbono se consigue cuando se emite la misma cantidad de dióxido de carbono (CO₂) a la atmósfera de la que se retira por distintas vías, lo que deja un balance cero, también denominado huella cero de carbono. Concretamente, en edificación para reducir emisiones y avanzar hacia la neutralidad de carbono, se debe potenciar la implantación de energías renovables y eficiencia energética, ya que en gran parte estas emisiones se deben a que los edificios existentes no disponen de aislamientos ni instalaciones energéticamente eficientes. Por otro lado, los edificios existentes no responden a criterios de diseño arquitectónico, ni de sistemas constructivos eficientes, que contribuyan a una menor demanda energética, lo que requiere un esfuerzo adicional frente a obra nueva, para las actuaciones de rehabilitación.

Para alcanzar este objetivo de neutralidad de carbono, desde la Comisión Europea se han articulado diversas medidas, entre ellas, destinar parte de los fondos económicos para potenciar la rehabilitación y regeneración urbana y la modificación de la Directiva Europea de Eficiencia Energética de los Edificios (EPBD) que obligará en los próximos años a todos los estados miembros a la definición de mecanismos para la implementación de los requisitos relativos a: el edificio cero emisiones, los requerimientos mínimos de eficiencia energética, el pasaporte de la rehabilitación, la reconfiguración o armonización de los certificados de eficiencia energética, entre otros.

De otra, el Gobierno Español contribuye a este objetivo, con el Plan Nacional Integrado de Energía y Clima 2021-2030 (PNIEC) que tiene prevista la renovación de la envolvente térmica de 1.200.000 viviendas en el conjunto del período, además de futuras revisiones normativas para adaptarnos a los requerimientos europeos. Por tanto, la rehabilitación y renovación desde el punto energético de los edificios, será una constante en progresión en el sector de la edificación.

Las intervenciones de rehabilitación son complejas y es fundamental un conocimiento preciso de las distintas soluciones para la mejora de la envolvente y sistemas para renovación de las instalaciones térmicas, dado que en estas intervenciones es esencial un principio de mejora del escenario inicial hasta un coste óptimo.

En este sentido, la Guía se estructura en un primer capítulo de conceptos básicos sobre rehabilitación energética, para después dedicar algunos capítulos a la envolvente, su diagnosis, soluciones constructivas de aislamiento térmico, huecos, protecciones solares y hermeticidad. También se trata la mejora de las instalaciones térmicas como instalaciones de calefacción, aire acondicionado, autoconsumo y ventilación. En definitiva, de manera resumida se ha incluido todo lo imprescindible para enfrentarse a una rehabilitación energética con criterio, ya que permite un mayor conocimiento de los sistemas y soluciones para planificar y ejecutar con éxito una rehabilitación.

El Arquitecto Técnico es un técnico idóneo para liderar esta transformación del parque existente. La Guía de la Fundación Musaat pretende servir de herramienta para los técnicos que intervienen en rehabilitaciones energéticas, bien en la redacción de memorias, proyectos técnicos o en la ejecución de la obra.

1.1 MARCO TEÓRICO Y LEGISLATIVO. ANTECEDENTES Y TENDENCIAS FUTURAS

Siguiendo las directivas de la Unión Europea desde la 2002/91/UE¹, pasando por la 2010/31/UE² hasta llegar a la 2012/27/UE³ han ido apareciendo en la legislación española diversas normativas y reglamentos que afectan a la eficiencia energética de los edificios, desde la aparición del Código Técnico de la Edificación, CTE⁴, pasando por el RD 47/2007⁵ de Certificación Energética de los Edificios y las varias actualizaciones del mencionado CTE, hasta llegar al actual decreto sobre certificación energética, RD 390/2021⁶, entre otras.

Además, y siguiendo las metas planteadas por los objetivos 20/20/20 UE y los objetivos del 2030 de la UE, que buscan una reducción significativa de la emisión de los gases de efecto invernadero, del consumo de energías no renovables y el aumento de la utilización de fuentes de energía renovable para cubrir las demandas de los edificios. Esta normativa se ha ido actualizando para poder llegar a conseguir estos objetivos, limitando cada vez más las demandas energéticas que se van a producir tanto en los edificios de nueva construcción, como en las reformas que se realicen en los edificios existentes.

Uno de los conceptos precursores de la evolución de la normativa española en este ámbito ha sido el relacionar las prescripciones sobre el confort y la eficiencia energética, es decir, que básicamente se buscaba, con el avance normativo, el mejorar el comportamiento energético de las edificaciones en aras de conseguir un mayor ahorro energético, económico y de emisiones contaminantes. En esta evolución pronto se vieron inscritos otros criterios, como la necesidad de relacionar esa eficiencia con la adopción de consideraciones con respecto a la habitabilidad, ligando ésta a unas adecuadas condiciones higrotérmicas.

La primera normativa en España que tiene por objeto reducir el consumo energético se data de 1975 con el Decreto 1490/1975⁷ que surge como una directiva para la reducción del consumo energético en España debido a la crisis energética desatada a causa de la "Guerra del Yom Kipur" en 1973 y el subsiguiente encarecimiento de las fuentes de energía fósiles. Una de las principales exigencias de esta normativa es la expresión para calcular la transmisión térmica de calor de un edificio, a partir una media ponderada de los distintos elementos de separación del edificio definido como coeficiente global de transmisión de calor de un edificio, KG.

Es de destacar que ya en este Decreto 1490/1975 se establece la necesidad de zonificar la distribución de calor con sistemas automáticos de regulación para aprovechar principios como es el soleamiento y así minimizar el consumo energético al aprovechar las cargas gratuitas⁸. Este concepto, totalmente novedoso en la normativa de esa época, es uno de los conceptos básicos en la búsqueda de la eficiencia energética en nuestros edificios, ya sean nuevos o existentes, ya que nos insta a la adecuada concepción de los sistemas de climatización de las edificaciones para tener en cuenta el aprovechamiento del clima y de las circunstancias en las que se definen las construcciones.

Con la necesidad de actualizar el decreto mencionado anteriormente, surge 4 años después el Real Decreto 2429/1979⁹ también conocido como la NBE-CT-79 (Norma Básica de la Edificación, Condiciones Térmicas de 1979). Esta norma básica desarrolla el RD 1490/1975, indicando que se deben prescribir normas no solo con el objetivo de ahorrar energía, sino que también hay que considerar aspectos térmicos o higrotérmicos que afectan a las condiciones de habitabilidad de las edificaciones.

Estos objetivos de la NBE-CT-79, también deben de considerarse uno de los pilares básicos de la eficiencia energética, es decir, no sólo se debe buscar una reducción de los consumos energéticos en las edificaciones, sino que estos consumos, deben de estar orientados a conseguir edificios lo más confortables posibles para sus usuarios. Pues no tiene ninguna utilidad que un edificio consuma muy poca energía y sea muy eficiente, si los usuarios de este no perciben un adecuado nivel de confort al habitarlo.

1 Directiva 2002/91/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 16 de diciembre de 2002, relativa al rendimiento energético de los edificios.

2 Directiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo y del Consejo de 19 de mayo de 2010, relativa a la eficiencia energética de los edificios.

3 Directiva 2012/27/UE del Parlamento Europeo y del Consejo de 25 de octubre de 2012, relativa a la eficiencia energética, por la que se modifican las Directivas 2009/125/CE y 2010/30/UE, y por la que se derogan las Directivas 2004/8/CE y 2006/32/CE.

4 Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación.

5 Real Decreto 47/2007, de 19 de enero, por el que se aprueba el procedimiento básico para la certificación de eficiencia energética de edificios de nueva construcción.

6 Real Decreto 390/2021, de 1 de junio, por el que se aprueba el procedimiento básico para la certificación de la eficiencia energética de los edificios.

7 Decreto 1490/1975, de 12 de junio, por el que se establecen medidas a adoptar en las edificaciones con objeto de reducir el consumo de energía.

8 Cuando en esta norma se menciona "sistemas automáticos" se refiere a la necesidad de la colocación de termostatos, para asegurar que no se calientan de más aquellas estancias que tienen un aporte gratuito de energía, como por ejemplo proveniente del soleamiento.

9 El título completo es: "Real Decreto 2429/1979, de 8 de julio, por el que se aprueba la norma básica de edificación NBE-CT-79, sobre condiciones térmicas en los edificios".

El marco teórico que se encuentra en nuestro país presenta ciertos hitos históricos relativamente recientes que tienen como origen esas normativas que surgieron en los años 70 como consecuencia de la crisis energética provocada por la "Guerra del Yom Kipur" de 1973, ya mencionada anteriormente. Las actuales crisis energéticas, climáticas, económicas y sociales, están provocando situaciones semejantes a las acaecidas en los años 70 y la respuesta ha sido un cambio hacia una normativa más "exigente", como la importante evolución que ha tenido el Código Técnico de Edificación, en su documento básico de Ahorro de Energía (DB-HE) donde en los últimos años las nuevas exigencias planteadas inicialmente en su versión de 2006 ha sufrido importantes cambios y modificaciones en sus actualizaciones de 2013 y 2019 (Orden FOM/1635/2013; Real Decreto 732/2019).

A modo de síntesis, la Figura 1 muestra la evolución de la normativa española en los últimos 50 años indicando los cambios más significativos.

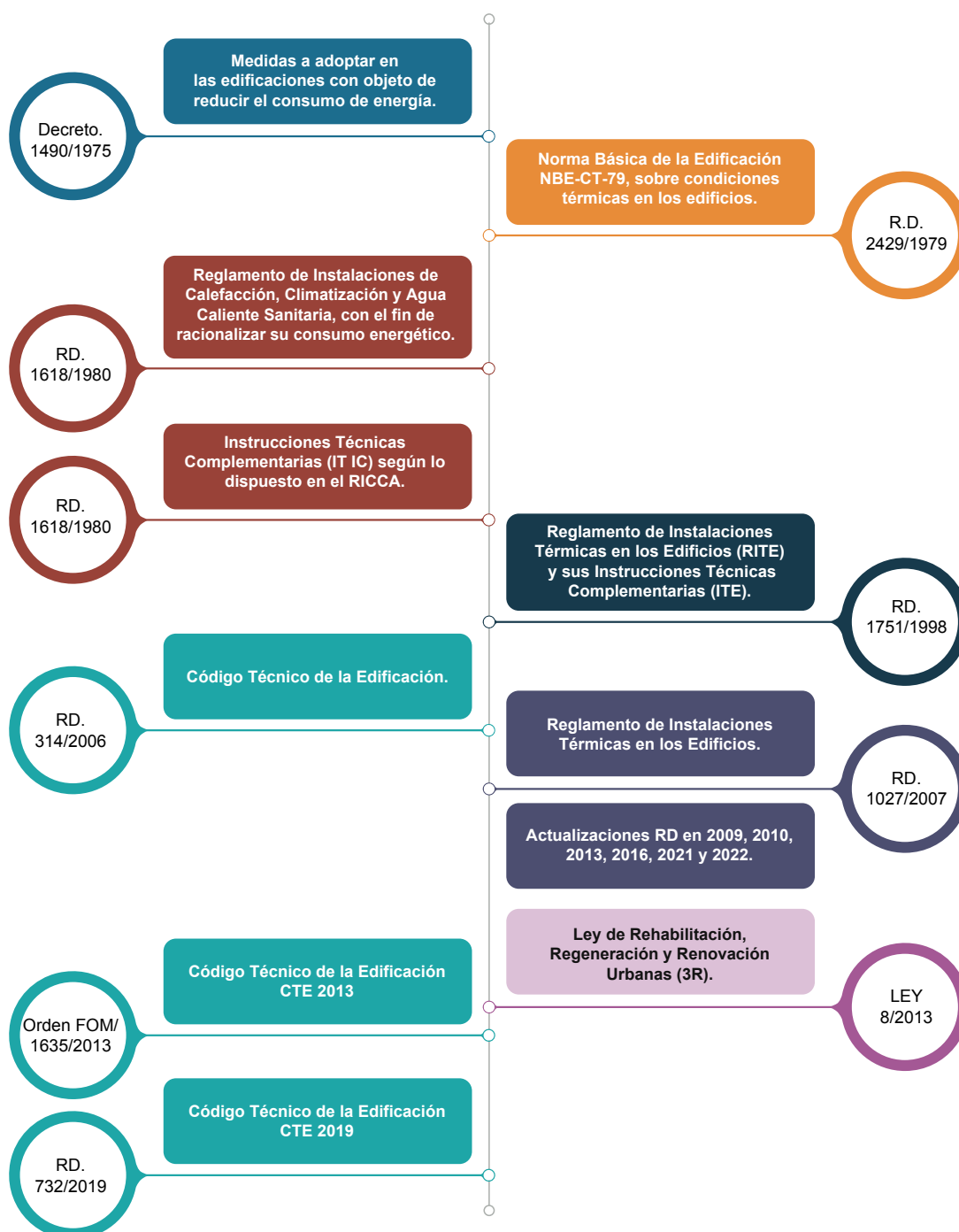


Figura 1. Hitos en la evolución de la normativa relacionada con la eficiencia energética en España. Fuente: López Davó, 2022.

1.2 CONCEPTOS BÁSICOS EN EFICIENCIA ENERGÉTICA

Para saber afrontar el reto de diseñar, construir y/o rehabilitar edificios que puedan ser llegados a considerar de consumo de energía casi nulo, se deben de tener en cuenta muchos factores, y es por ello por lo que se debe tener claro una serie de conceptos y/o definiciones (Real Decreto 732/2019):

- **Eficiencia energética del edificio:** cantidad de energía calculada o medida que se necesita para satisfacer la demanda de energía asociada a un uso normal del edificio.
- **Demanda (energética):** energía útil necesaria que tendrían que proporcionar los sistemas técnicos para mantener en el interior del edificio unas condiciones definidas reglamentariamente. Se puede dividir en demanda energética de calefacción, de refrigeración, de agua caliente sanitaria (ACS), de ventilación, de control de la humedad y de iluminación, y se expresa en $\text{kWh/m}^2\cdot\text{año}$.

Las demandas energéticas se traducen en la cantidad de energía que tendrán que proporcionar las instalaciones térmicas, de ventilación y de ACS en un edificio (Figura 2) para conseguir las adecuadas condiciones de confort para los usuarios de la edificación.

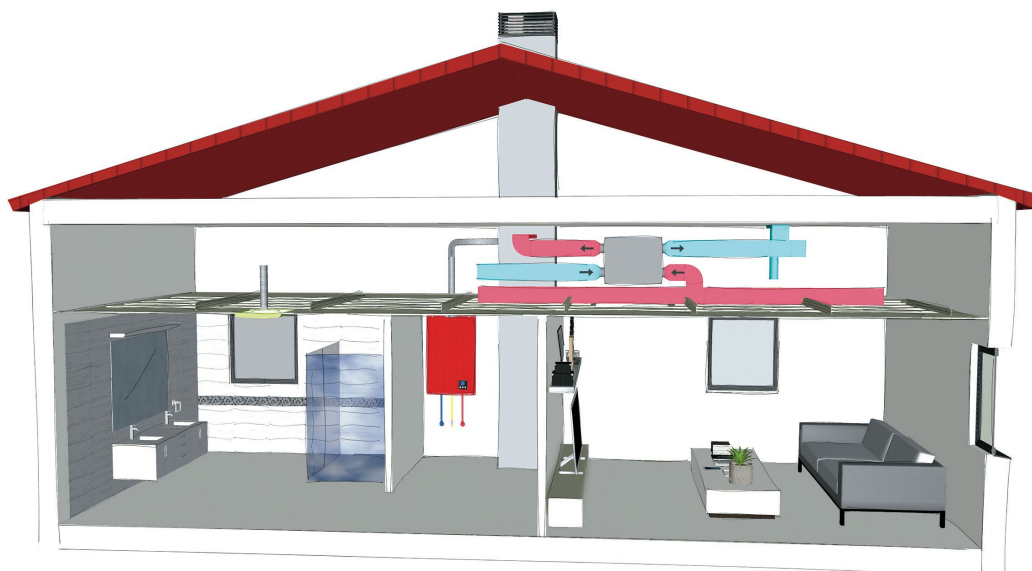


Figura 2. Demandas térmicas, de climatización, ventilación y ACS en vivienda.

En condiciones de invierno, la demanda de calefacción se contabilizará como la energía que tendrán que proporcionar los sistemas de calefacción (en base a las cargas térmicas determinadas como consecuencia de las características de la edificación y las condiciones climáticas exteriores) para poder conseguir unas adecuadas condiciones de confort interiores. Las condiciones de confort térmico están establecidas reglamentariamente por el Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificación, RITE en su Instrucción Técnica IT 1.14.1. (Tabla 1). Mientras que, las condiciones de salubridad y de aporte de ACS se establecen en el DB-HS 3 y en el DB-HE 4 del CTE respectivamente.

Tabla 1. Condiciones interiores de diseño. Tabla 14.1.1. del RITE 2007. Fuente: Real Decreto 178/2021, de 23 de marzo de, 2021a, p. 33759).

Estación	Temperatura operativa °C	Humedad relativa %
Verano	23 a 25	45 a 60
Invierno	21 a 23	40 a 50

- **Consumo (energético):** energía que es necesario suministrar a los sistemas (existentes o supuestos) para atender los servicios de calefacción, refrigeración, ventilación, ACS, control de la humedad y, en edificios de uso distinto al residencial privado, de iluminación, del edificio, teniendo en cuenta la eficiencia de los sistemas empleados. Se expresa con unidades kWh/m².año.

Puede expresarse como consumo de energía final (por vector energético) o consumo de energía primaria y referirse al conjunto de los servicios (total) o a un servicio específico.

El sector residencial existente (IDAE, 2020b) es un importante consumidor de energía y generador de CO₂, y las normativas vienen a intentar reducir estas demandas y consumos energéticos, siendo el 66% de este consumo energético destinado a cubrir las demandas de calefacción y de ACS, tal y como se puede apreciar en la Figura 3 (IDAE & MITECO, 2023).

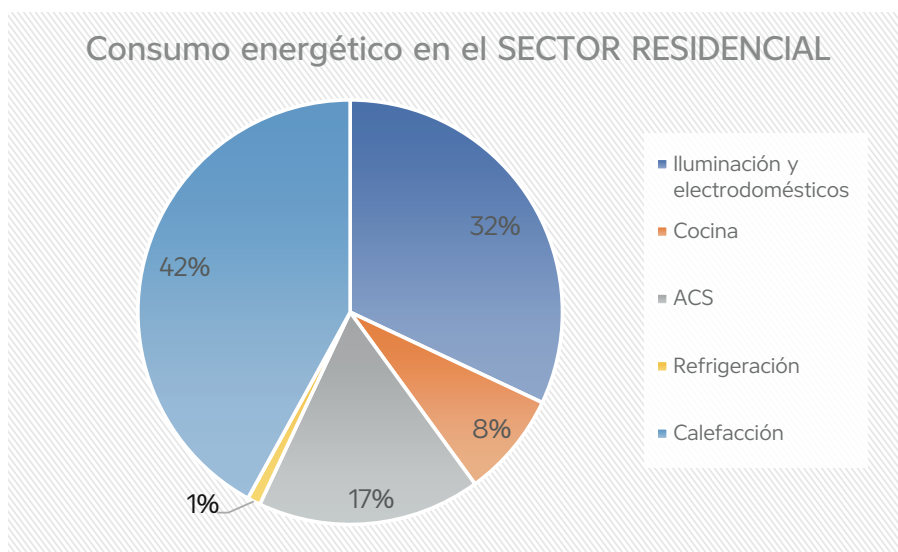


Figura 3. Consumo energético en el sector residencial en base a los datos recogidos por el IDAE en 2018.

En la actualidad, los patrones de consumo han cambiado y en la mayoría de las zonas climatológicas el consumo de ACS es mayor que el de calefacción. Para el cálculo del consumo energético que se realiza en el proceso de certificación energética y el cálculo del cumplimiento del DB-HE, el procedimiento establecido tiene en cuenta el rendimiento de las máquinas existentes para cada uno de los servicios mencionados (calefacción, refrigeración, ACS y ventilación), y en función de dicho rendimiento y la demanda, se calcula dicho consumo energético, a partir de la ecuación 1.

$$\text{Consumo energético} = \frac{\text{Demanda del edificio}}{\mu_{\text{estacional equipos}}} \quad (1)$$

En el caso que el edificio proyectado o el edificio a rehabilitar no están dotados de alguno de los sistemas que se han mencionado¹⁰, la comprobación del cumplimiento normativo y la clasificación de la edificación en la escala de eficiencia energética, se deben utilizar los procedimientos de cálculo normativo que establecen unos "sistemas de referencia"¹¹. Estos sistemas son "virtuales", es decir, se establecen de forma ficticia, para poder considerar así los consumos energéticos teóricos que se tendrían para cubrir las demandas no cubiertas realmente y así poder comparar edificios no dotados de estos sistemas con los edificios que sí los tienen. Los "sistemas de referencia", del DB-HE 0 se establecen en base a la Tabla 2.

¹⁰ Las edificaciones pueden no estar dotadas de aquellas instalaciones que no son obligatorias en el CTE, como es la calefacción y la refrigeración. La ventilación y el ACS son dotaciones obligatorias, excepto en edificaciones anteriores al CTE, donde las instalaciones de ventilación no eran obligatorias.

¹¹ Solo en caso de edificios de uso residencial privado.

Tabla 2. Tabla 4.5 del CTE DB-HE 0. Sistemas de referencia (Real Decreto 732/2019 de 20 de diciembre de 2019, p. 140535).

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

- **Consumo de energía primaria no renovable:** parte no renovable de la energía primaria que es necesario suministrar a los sistemas. Se determina teniendo en cuenta el valor del coeficiente de paso del componente no renovable de cada vector energético.
- **Consumo de energía primaria total:** valor global de la energía primaria que es necesario suministrar a los sistemas. Incluye tanto la energía suministrada y la producida in situ, como la extraída del medioambiente.
- **Energía final:** energía tal y como se utiliza en los puntos de consumo. Es la que compran los consumidores, en forma de electricidad, carburantes u otros combustibles usados de forma directa.
- **Energía primaria:** energía suministrada al edificio procedente de fuentes renovables y no renovables, que no ha sufrido ningún proceso previo de conversión o transformación. Es la energía contenida en los combustibles y otras fuentes de energía e incluye la energía necesaria para generar la energía final consumida, incluyendo las pérdidas por su transporte hasta el edificio, almacenamiento, etc.

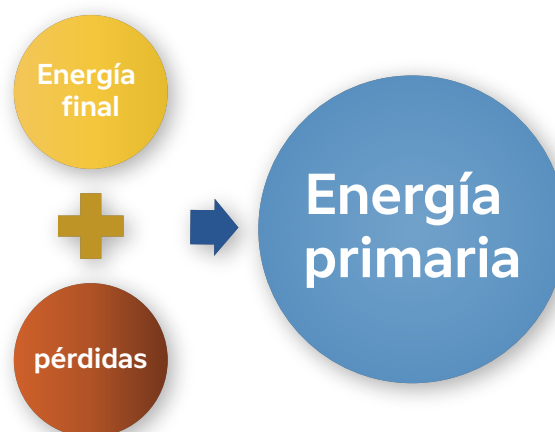
Energía primaria = Energía final + Pérdidas en transformación + Pérdidas en transporte



La energía primaria (total) puede descomponerse en energía primaria procedente de fuentes renovables, o energía primaria renovable, y en energía primaria procedente de fuentes no renovables, o energía primaria no renovable, de acuerdo con la Directiva de Energías Renovables (2009/28/CE).

De forma simplificada, la relación entre energía final y primaria se puede expresar con un coeficiente de paso, que refleja, para una zona geográfica determinada, el efecto de las pérdidas en transformación y transporte en cada una de las partes de la energía primaria (renovable y no renovable) de cada vector energético.

La energía primaria (Figura 4) surge como una definición necesaria para poder comparar y clasificar energéticamente hablando los consumos energéticos de las edificaciones, ya que no son comparables las denominadas energías finales, como es la electricidad, el gas o los combustibles fósiles. Para poder comparar los consumos energéticos hace falta partir de la base y esta es la energía primaria, donde a la energía final, se le suman todas las pérdidas que ha tenido dicha fuente energética en la transformación, el transporte y la utilización.

**Figura 4.** Componentes de la energía primaria.

- **Energía procedente de fuentes renovables:** energía procedente de fuentes renovables no fósiles, es decir, energía eólica, solar, aerotérmica, geotérmica, hidrotérmica y oceánica, hidráulica, biomasa, gases de vertedero, gases de plantas de depuración y biogás. Debe tenerse en cuenta que no toda la energía generada a partir de fuentes renovables puede ser considerada renovable. La energía generada a partir de fuentes renovables puede tener, en algunos casos, un componente de energía no renovable que debe ser tratado como tal en el cálculo energético.

Esto se puede apreciar en el caso de la biomasa, para la que el factor de paso de energía final a energía primaria no renovable es distinto de cero, lo que se debe al uso de combustibles fósiles en la extracción y transporte de la biomasa.

De las definiciones anteriores, se puede ver claramente que existe una íntima relación entre la Demanda y el Consumo de energía no renovable, que va a depender del rendimiento de los equipos y del aporte de energías renovables (ecuación 2).

$$\text{Consumo energético} = \left[\frac{\text{Demanda del edificio}}{\mu \text{ estacional equipos}} \right] - \text{Aporte energías renovables} \quad (2)$$

- **Balance energético:** este es un concepto importante a tener en cuenta en el diseño y en la rehabilitación energética pues representa el flujo de energía entre un edificio y su entorno (Figura 5). En otras palabras, es el flujo entre las pérdidas y las ganancias energéticas que se deben de considerar en todas las demandas.

Por lo tanto, es muy importante, que ante un proyecto de rehabilitación energética el técnico debe de tener muy claro, de qué depende cada una de las demandas energéticas (Figura 6) que va a tener el edificio, por donde y en qué magnitud va a tener las pérdidas y ganancias para poder minimizar o maximizar cada una de ellas, en aras de mejorar esas demandas energéticas lo máximo posible.

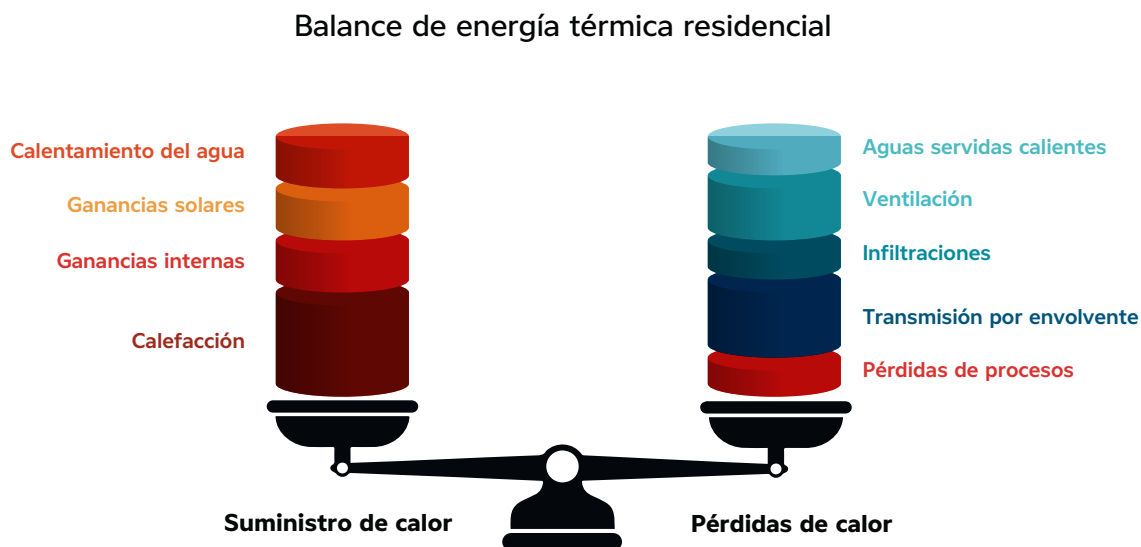


Figura 5. Balance energético en el sector residencial.

- **Edificio de consumo casi nulo:** La definición recogida en la Directiva 2010/31/UE establece que, son edificios con un nivel de eficiencia energética muy alto, que se determinará de conformidad con el anexo I de dicha directiva y la cantidad casi nula o muy baja de energía requerida debería estar cubierta, en muy amplia medida, por energía procedente de fuentes renovables, incluida energía procedente de fuentes renovables producida in situ o en el entorno. En el apartado 1.4 de este capítulo se desarrollará de forma extensa esta definición y sus características.

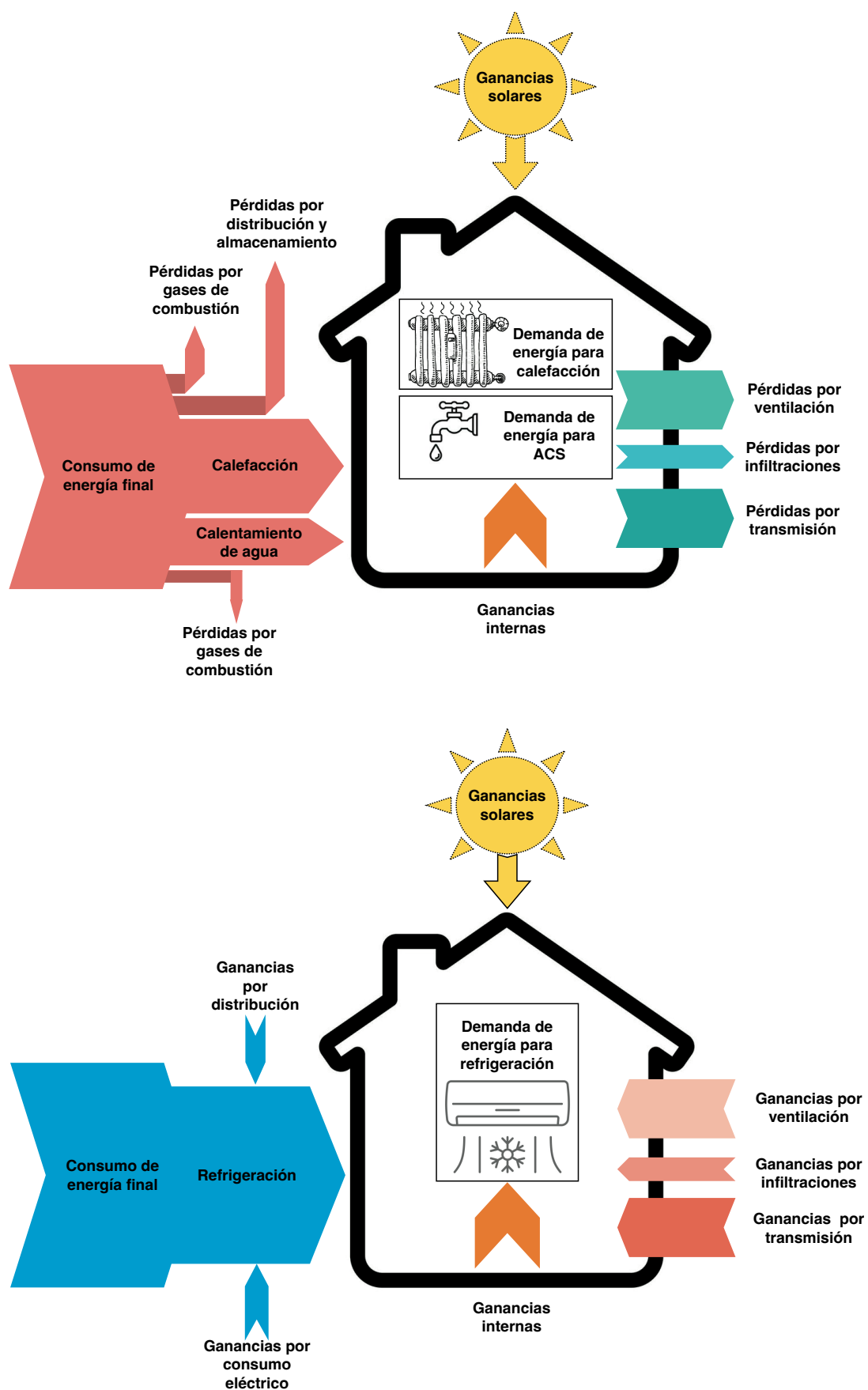


Figura 6. Pérdidas y ganancias asociadas a las demandas energéticas. Superior: condiciones de invierno. Inferior: condiciones de verano.

1.3 DEFINICIÓN DE LA ENVOLVENTE TÉRMICA EN EL CONTEXTO DEL CTE Y DE LAS NUEVAS DIRECTIVAS CONTRA EL CAMBIO CLIMÁTICO

En primer lugar, es necesario definir que se conoce como envolvente térmica, y para ello se remite al Documento Básico de Ahorro de Energía (DB-HE) en su anejo C donde se define como:

“La envolvente térmica está compuesta por todos los cerramientos y particiones interiores, incluyendo sus puentes térmicos, que delimitan todos los espacios habitables del edificio o parte del edificio.”

Por tanto, la envolvente térmica la conforman todos aquellos cerramientos (horizontales o verticales) y particiones interiores que separan los espacios habitables del exterior, del terreno o de otros espacios no habitables, como se puede ver en la Figura 7.

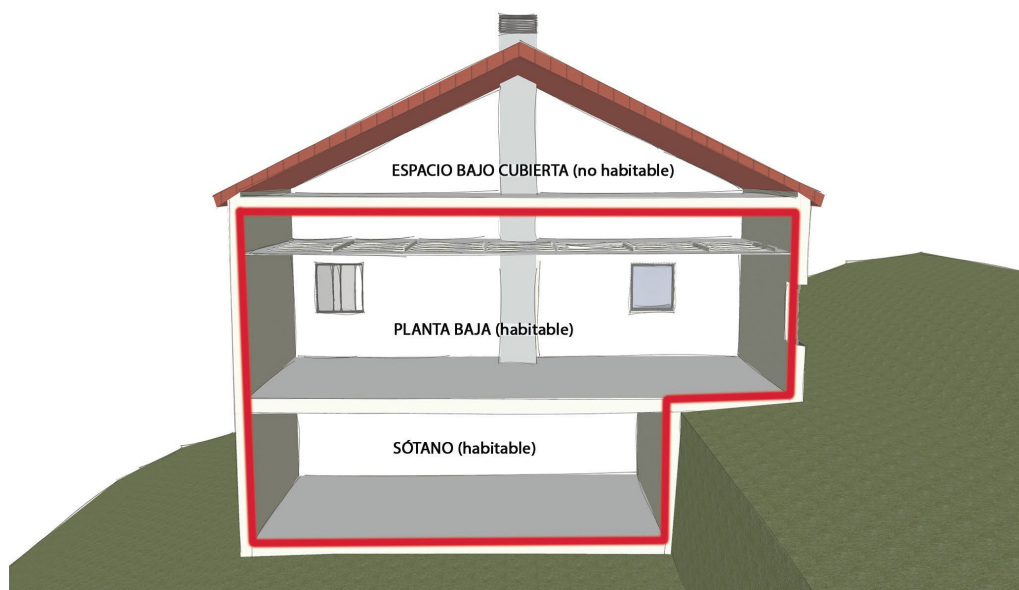


Figura 7. Edificación con envolvente térmica delimitada con una línea roja.

La determinación de la envolvente térmica de un edificio existente puede no ser clara en todos los casos, pues en ocasiones depende de las decisiones que tome el técnico en función de considerar dentro o fuera de la envolvente térmica que se vaya a definir, espacios habitables que no van a ser acondicionados como pueden ser escaleras, pasillos o espacios muy ventilados o que posean grandes aperturas al exterior, o incluso en algunas ocasiones considerar dentro de la envolvente térmica espacios no habitables, como podría el hueco de ascensor entre partición entre viviendas, que complicarían la compacidad de dicha envolvente. Todas estas consideraciones se van a estudiar en los siguientes apartados.

1.3.1 CRITERIOS DE DEFINICIÓN DE LA ENVOLVENTE TÉRMICA DEL EDIFICIO

Como ya se ha indicado anteriormente, la envolvente térmica está compuesta por todos los cerramientos que delimitan los espacios habitables del edificio. Su determinación es vital, ya que su superficie se tomará como referencia en el cálculo de los indicadores de consumo energético. Para ello, se ha de tener en cuenta que la envolvente térmica debe cumplir la denominada “regla de continuidad”, también conocida en el estándar Passivhaus como “regla del rotulador¹²”. Es decir, que tanto en planta como en sección la envolvente térmica debe de encerrar el volumen del edificio que se está analizando.

Si se consigue que la continuidad de la envolvente térmica refleje una adecuada uniformidad en la transmitancia térmica de sus elementos, implicará un comportamiento eficiente de la misma. Para ello, la DB-HE 1 establece una serie de límites para cada uno de los componentes de la envolvente térmica. Véase Figura 8 donde aparece la Tabla 3.1.1.a del DB-HE 1.

¹² Que en un edificio consiste en poder trazar con un rotulador una línea continua alrededor de la envolvente siguiendo el trazado del aislamiento que se tiene previsto colocar.

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

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

Figura 8. Tabla 3.11.a – DB-HE 1 Valores límite de transmitancia térmica, U_{lim} [W/m^2K].

La limitación a las transmitancias térmicas también se establecen en las particiones interiores que no configuran la envolvente térmica, con afán de evitar también las descompensaciones entre las distintas unidades que configuran la edificación. Véase la Tabla 3.11.c del DB-HE 1 (Figura 9).

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

Figura 9. Tabla 3.11.c – DB-HE 1 Valores límite de transmitancia térmica, en particiones interiores U_{lim} [W/m^2K].

Además de lo anterior y tal y como se ha mencionado previamente, el DB-HE permite al técnico cierta flexibilidad a la hora de definir la envolvente térmica. En la Figura 10, extraída de la versión comentada de DB-HE 2019, se indican tres posibilidades de considerar un espacio ocupado por un local.

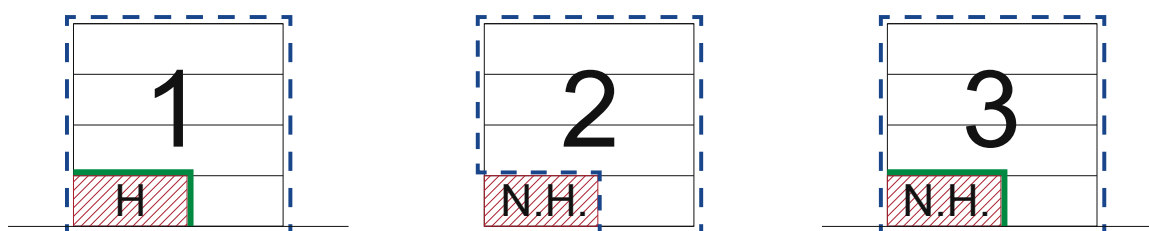


Figura 10. Casos de consideración de un local. Figura de la versión comentada del DB-HE 2019.

1. En el primer caso, si el local tiene un uso definido, que se puede asimilar a un “espacio habitable”, la divisoria entre las viviendas y el local se deben de considerar adiabáticas¹³ y, por lo tanto, al separar dos espacios habitables, no formará parte de la envolvente. Únicamente tendrá que cumplir con las limitaciones establecidas en la Tabla 3.1.3 del DH-HE1 que limita la transmitancia térmica entre unidades de distinto uso.
2. En el segundo caso, si el local fuese considerado como *no habitable*, los cerramientos que lo separan del resto de espacios habitables de la edificación sí que se considerarían dentro de la envolvente térmica y por tanto deben de cumplir las limitaciones que les son de aplicación.
3. En el tercer caso, si se considera el local no habitable dentro de la envolvente, los cerramientos del local que conforman parte de la envolvente, deben de cumplir con las limitaciones de esta, aunque para el cálculo del volumen considerado en la compacidad de la edificación, los espacios no habitables no computarán. Tampoco se considerará su superficie a la hora de determinar el consumo energético de la edificación. Y al igual que en el primer caso, los cerramientos entre el local y el resto de los espacios de la edificación tienen que cumplir con las limitaciones entre distintas unidades de uso para evitar descompensaciones.

Estas posibilidades permiten establecer, para cada caso, la definición más eficiente de la envolvente, que será aquella donde se pueda, al fin y al cabo, conseguir un mayor índice de compacidad, haciendo que la superficie expuesta sea la mínima posible.

1.3.2 CLASIFICACIÓN DE LOS ESPACIOS

Cuando se va a definir el modelo del edificio a proyectar o rehabilitar, este debe estar compuesto por una serie de espacios conectados entre sí y con el ambiente exterior mediante los cerramientos, los huecos y los puentes térmicos, tal y como ya se ha definido con anterioridad.

Los espacios del edificio deben estar clasificados en espacios habitables y espacios no habitables. Los habitables se clasificarán además según su carga interna. La carga o demanda interna en edificación define conjunto de demandas generadas en el interior del edificio, debidas, fundamentalmente, a los aportes de energía de los ocupantes, los equipos eléctricos de cada espacio y la iluminación. En función de la densidad de esas cargas internas se definen en cuatro niveles: baja densidad ($<6 \text{ W/m}^2$), densidad media ($6-9 \text{ W/m}^2$), alta densidad ($9-12 \text{ W/m}^2$) o muy alta densidad ($> 12 \text{ W/m}^2$). Además de esto, los espacios también se clasifican según su nivel de acondicionamiento en espacios acondicionados y espacios no acondicionados.

Todos los espacios de edificios residenciales se pueden considerar de “baja carga interna”. Y todos los espacios interiores de las viviendas se consideran acondicionados.

Los espacios acondicionados, deberán cumplir las condiciones operacionales establecidas en el anexo D del DB-HE donde se indican las condiciones que deben cumplir los espacios acondicionados tanto del residencial privado como de otros espacios y que definirán mediante el cálculo adecuado el nivel de carga interna de cada uno de estos espacios.

Se debe de recordar tal y como se ha definido antes, que el propio DB-HE deja a criterio del técnico dos posibilidades, una la incluir total o parcialmente alguno de los espacios no habitables de la edificación y por otro lado de excluir ciertos espacios habitables que no van a ser acondicionados en toda la vida útil de la edificación o espacios muy ventilados o con aberturas al exterior (Figura 11). Estas posibilidades le dan al técnico la posibilidad de definir la envolvente térmica de la forma más efectiva posible, para conseguir compacidades¹⁴ lo más elevadas posibles.

Además de todo esto, es necesario no confundir la superficie útil de una vivienda con la superficie habitable, ya que no son el mismo concepto. La superficie habitable es la que define un espacio habitable que en la edificación puede estar acondicionado o no. La superficie útil, se utiliza para determinar la superficie aprovechable de un inmueble e incluso para algunos elementos se aplican coeficientes de minoración, como por ejemplo en porches, donde su superficie útil es el 50% de su área total.

¹³ Adiabáticos son cerramientos o divisiones donde no existe intercambio térmico entre un lado y el otro. Al considerarse que los espacios colindantes van a estar en las mismas condiciones térmicas. Si no hay diferencias de temperatura, no hay transmisión de calor.

¹⁴ La compacidad es la relación entre el volumen de los espacios habitables dentro de la envolvente con respecto al área expuesta de esta. $C = V/A$. Hay que tener en cuenta que a mayor compacidad menores pérdidas energéticas se van a producir a través de la envolvente, ya que esta tiene una menor superficie expuesta.

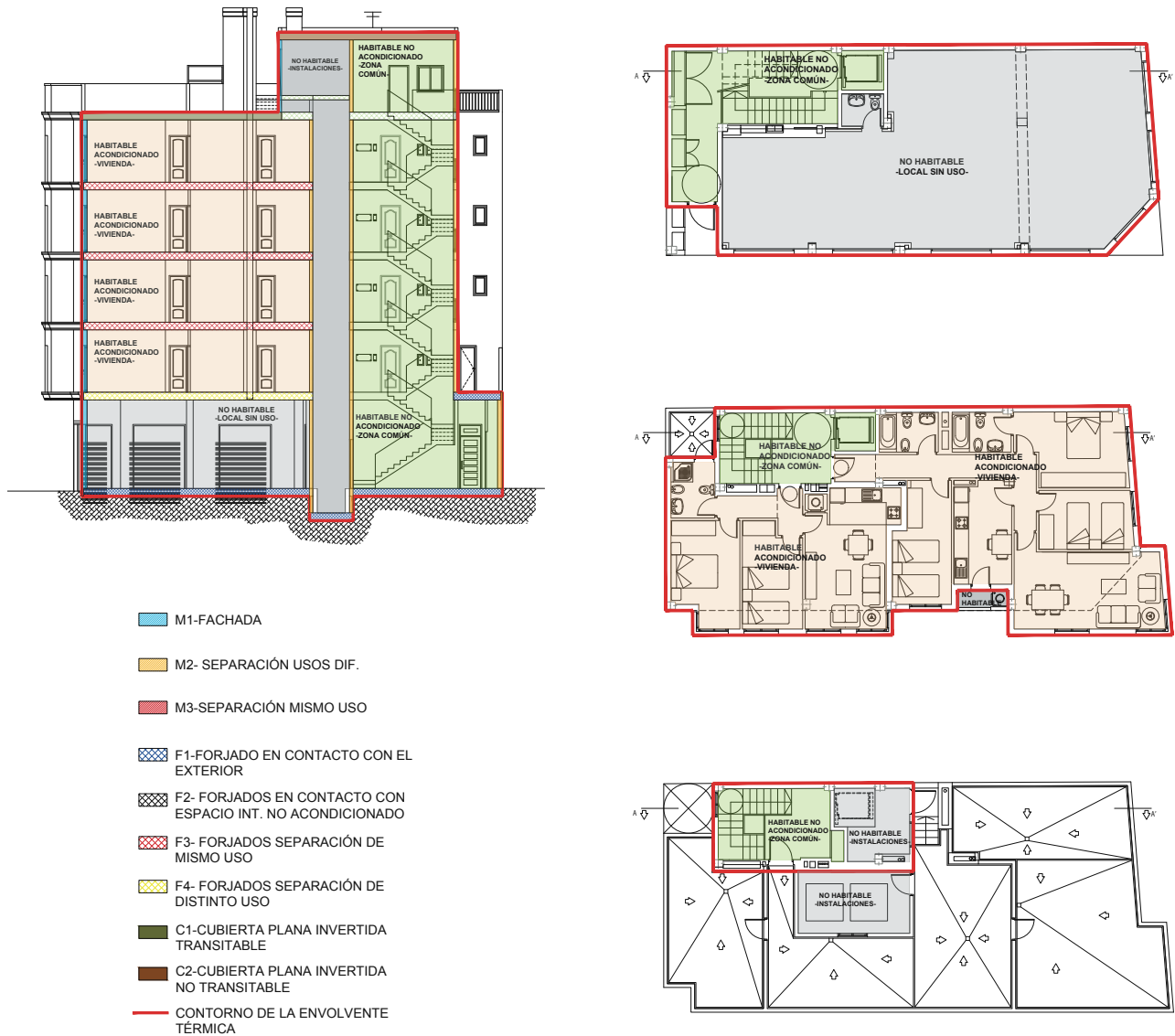


Figura 11. Esquema de los espacios que conforman la envolvente térmica.

1.3.3 PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS DE LA ENVOLVENTE TÉRMICA

Una vez definidos los espacios que van a formar parte de la envolvente térmica del edificio, se deben de definir los parámetros característicos de ellas. Esos parámetros característicos son los que definen los cerramientos de la envolvente térmica.

Teniendo en cuenta los condicionantes definidos en la normativa, se agrupan en los siguientes tipos (ver Figura 12) que se indican a continuación.

- transmitancia de muros en contacto con el aire exterior U_M ;
- transmitancia de suelos en contacto con el aire exterior U_S ;
- transmitancia de muros, suelos y cubiertas en contacto con espacios no habitables U_{NH} ;
- transmitancia de muros, suelos y cubiertas en contacto con espacios no habitables o con el terreno U_T ;
- transmitancia de cerramientos de medianeras o particiones interiores pertenecientes a la envolvente térmica U_{MP} ;
- transmitancia de cubiertas en contacto con el aire exterior U_C ;
- transmitancia de huecos (conjunto de marco, vidrio y, en su caso, cajón de persiana) U_H .

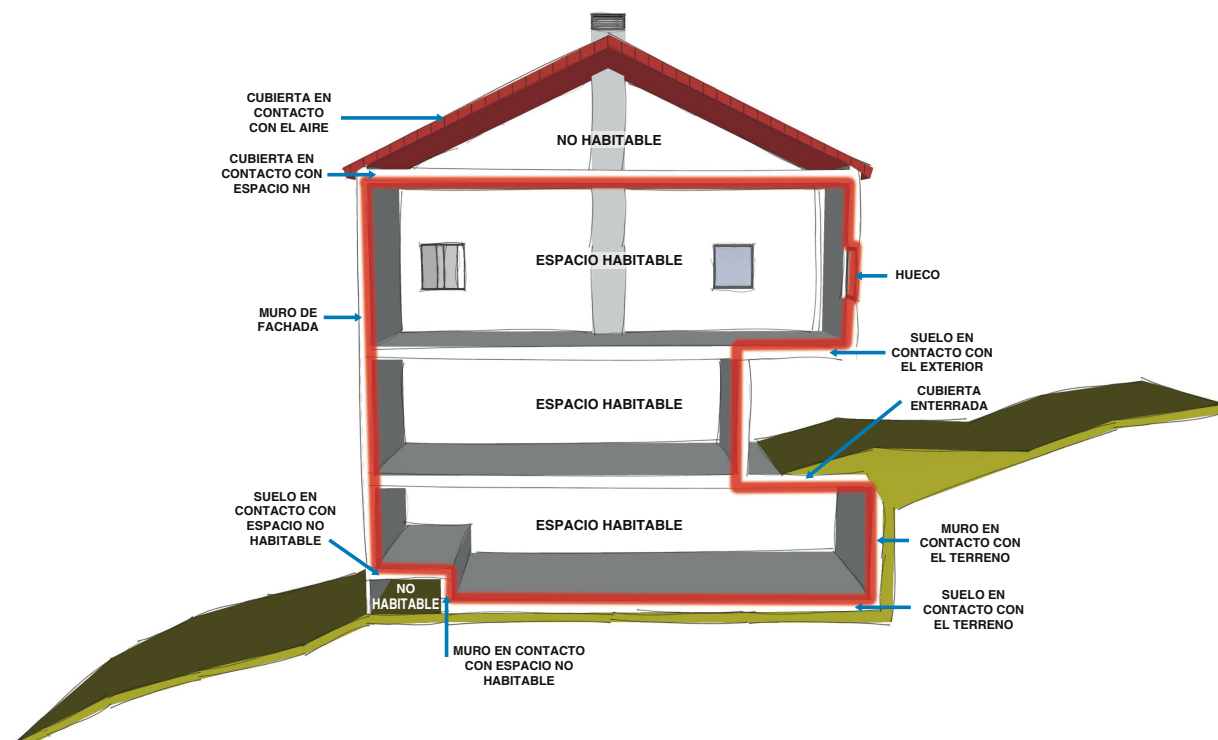


Figura 12. Parámetros característicos que conforman la envolvente térmica.

Todos estos cerramientos deberán tener valores de transmitancia térmica (U , W/m^2K) inferiores a los establecidos en la Tabla 3.11a del DB-HE 1 y que se pueden ver en la Figura 8 para evitar discontinuidades en la envolvente, pero esos valores no aseguran el buen comportamiento energético de la envolvente.

Para poder asegurar ese comportamiento y cumplir con el coeficiente global de transmisión de calor, K , definido por la normativa, pueden servir de orientación los valores de transmitancia orientativos o recomendados definidos en la Tabla a del anexo E del Documento básico HE-1 (Figura 13). Estos valores son más exigentes que los definidos para las transmitancias U_{lim} (Figura 8) y aunque mejoren la demanda energética, en la rehabilitación de edificios existentes es posible que en algunos casos no se puedan alcanzar.

	Zona Climática de invierno					
	α	A	B	C	D	E
Muros y suelos en contacto con el aire exterior, U_m , U_s	0,56	0,50	0,38	0,29	0,27	0,23
Cubiertas en contacto con el aire exterior, U_c	0,50	0,44	0,33	0,23	0,22	0,19
Elementos en contacto con espacios no habitables o con el terreno, U_r	0,80	0,80	0,69	0,48	0,48	0,48
Huecos (conjunto de marco, vidrio y, en su caso, cajón de persiana), U_h	2,7	2,7	2,0	2,0	1,6	1,5

Figura 13. Tabla a-Anexo E. DB-HE 1 Transmitancia térmica del elemento, U [$W/m^2 K$].

Una vez definidos los paramentos característicos, estos van a delimitar la superficie de la envolvente, y es muy importante tener en cuenta la forma en que se va a obtener esa superficie. Este valor siempre se obtiene midiendo la envolvente desde el interior de esta, nunca desde el exterior. A este respecto, los programas informáticos para la certificación energética presentan ligeras diferencias a la hora de introducir los datos de algunos de los elementos o cerramientos de la envolvente

térmica para obtener sus dimensiones. Se expone, para ello, los criterios de alturas que actualmente tienen los distintos procedimientos de certificación existentes.

- Herramienta Unificada Líder-Calener (HULC): Para los cerramientos verticales (sea cual sea su ubicación) siempre se considera la altura de suelo a suelo en cada planta ya que el programa detrae automáticamente los espesores de los forjados definidos, para así determinar las medidas interiores de los cerramientos.
- Cypetherm HE Plus: Solicita el volumen definido por la distancia entre el suelo y el falso techo.
- SG SAVE: considera la altura libre de los espacios, es decir, de suelo a techo.
- TeKton3D TK-CEEP: al igual que el HULC, solicita las dimensiones de suelo a suelo.
- CE3: solicita la altura de los espacios de suelo a techo.
- CE3X: al igual que el anterior, solicita la altura de suelo a techo.
- CERMA: siguiendo los pasos de HULC, solicita la altura de suelo a suelo.

1.4 DEFINICIÓN DE EDIFICIO DE CONSUMO DE ENERGÍA CASI NULO (EECN)

La Directiva 2010/31/UE (EPBD: Energy Performance of Buildings Directive) estableció que todos los edificios nuevos debían ser de *consumo de energía casi nulo* a partir del 31 de diciembre de 2020 y 31 de diciembre de 2018 para los edificios de uso público.

La definición establecida de Edificio de Consumo de Energía Casi Nulo (en adelante EECN) en el artículo 2 de esta directiva, y como ya se expresó anteriormente, dice:

“edificio con un nivel de eficiencia energética muy alto, que se determinará de conformidad con el anexo I. La cantidad casi nula o muy baja de energía requerida debería estar cubierta, en muy amplia medida, por energía procedente de fuentes renovables, incluida energía procedente de fuentes renovables producida in situ o en el entorno.”

En el anexo I de la Directiva se establecen los procedimientos que hay que tener en cuenta para conseguir un EECN, pero no especifica cómo cada uno de los países la UE deben de establecer la forma de cálculo y los indicadores de referencia. En España el método definido en el CTE DB HE se basa en la norma UNE-EN ISO 52000-1:2017: Evaluación de la Eficiencia Energética en Edificios (UNE-EN ISO 5200-1: 2019).

En cuanto a los indicadores necesarios a tener en cuenta, el documento de *Recomendación de la UE 2016/1318 estableció para la Zona Mediterránea* unos consumos máximos de Energía primaria neta de 0-15 kWh/m² año y de Energía primaria total de 50 kWh/m² año. Pero el CTE DB HE ha establecido unos límites algo superiores a las recomendaciones en su última versión de 2019 en algunas zonas climáticas españolas.

Además, en la Directiva 2010/31/UE se pueden extraer distintos conceptos, y uno de los principales es que la demanda energética de estos edificios será muy baja, y que deberá estar determinada reglamentariamente (en el caso de España, a través del Código Técnico en su documento básico de ahorro de energía, DB-HE), y que, además, una importante parte de la energía utilizada para cubrir la demanda producida por los distintos servicios debe de tener un carácter renovable.

En el CTE del 2019, en el anejo A del documento básico de Ahorro de Energía, se establece la siguiente definición de EECN:

“edificio, nuevo o existente, que cumple con las exigencias reglamentarias establecidas en este Documento Básico “DB HE Ahorro de Energía” en lo referente a la limitación de consumo energético para edificios de nueva construcción.”

Por lo que todos los edificios que cumplan con todas las exigencias establecidas en el Documento Básico de Ahorro de Energía se pueden considerar que cumplen los requisitos para ser considerados EECN o edificios Near Zero Energy Building NZEB (Figura 14).



Figura 14. Edificio de consumo de Energía casi Nulo en inglés, Near Zero Energy Buildings

En la actualización de 2019 de CTE DB HE, la presencia de fuentes renovables de energía en nuestras edificaciones se ha visto incrementada por diversos aspectos importantes. Por un lado, desde el punto de vista de la producción de ACS, en el nuevo documento *DB-HE 4 Contribución mínima de energía renovable para cubrir la demanda de agua caliente sanitaria*, ya no existe una obligatoriedad de cubrir parte de energía necesaria para la producción del ACS con energía solar térmica, se deja a criterio del proyectista utilizar cualquier tipo de fuente de energía renovable para dicha exigencia, siendo las fuentes de energía renovable más utilizadas, la energía solar térmica, la aerotermia y la fotovoltaica. Llegando incluso a considerarse la posibilidad de utilizar sistemas de generación de ACS y/o calefacción urbanos (también conocidos como *District Heating*) donde parte de la energía que se use para dicha generación sea de origen renovable.

Otro de los cambios más importantes considerados en esta actualización del DB-HE 4, es el porcentaje de energía renovable a utilizar en los sistemas de generación de ACS, pasando de unos porcentajes que oscilaban entre un 30% y un 70% en función de la zona climática y la demanda total del edificio en litros día (l/s), a un porcentaje fijo de un 70% para todas las zonas climáticas en España que se puede reducir a un 60% si la demanda es inferior a los 5000 l/d.

Esto último ha supuesto que en las zonas climáticas más frías de España (y con menor radiación solar), el aporte de energía renovable se tenga que doblar, en algunas ocasiones, con respecto a la exigencia de la anterior versión de DB-HE 4 de 2013.

Por otro lado, y en esta línea de aumentar el uso de energías renovables en las edificaciones, cabe mencionar los cambios experimentados en el *DB-HE 5 Contribución fotovoltaica mínima de energía eléctrica*, donde en la versión del CTE del 2013 solo se exigía en algunos tipos de uso no residenciales y cuando se superaban superficies construidas totales de 5000 m². En esos casos, la potencia mínima por instalar se calculaba solo en función de la zona climática y la superficie construida. En la actual versión del CTE 2019, se cambia el título del DB, a *Generación mínima de energía eléctrica procedente de fuentes renovables*, para así poder considerar cualquier tipo de fuente renovable en la generación de energía eléctrica. Y el cambio más importante es que el ámbito de aplicación es cualquier tipo de edificación incluso las residenciales, con una superficie construida total de más de 1000 m² (incluyendo sótanos para garajes) con una potencia mínima a instalar en base a la superficie construida y las áreas de cubiertas que pueden ocuparse por captadores solares fotovoltaicos.

En la última modificación del Código Técnico de Edificación viene definida por la entrada en vigor del Real Decreto 450/2022, aparece una nueva sección del DB-HE, en concreto la *DB-HE 6 Instalaciones con fines especiales. Infraestructura para la recarga de vehículos eléctricos*, donde se establecen las condiciones y las características que deben tener las instalaciones eléctricas en garajes para que estos puedan albergar puntos de carga de vehículos eléctricos.

En definitiva y después de lo expuesto, los técnicos deben de desarrollar estrategias que permitan conseguir un EECN y que pasan por los siguientes estadios:

1. Reducir la demanda energética de edificios asegurando un determinado nivel de confort.
2. Combatir las demandas resultantes mediante la instalación de sistemas de alto rendimiento para tener bajos consumos energéticos.
3. Que una parte importante de esos consumos, tengan fuentes procedentes de energías renovables.
4. Por último, no se puede olvidar la optimización del uso de la energía que se consume y la adecuada gestión de esta, para así evitar despilfarros y se consume innecesarios.

1.4.1 CRITERIOS DE APLICACIÓN DEL CTE A EDIFICIOS EXISTENTES

En la aplicación del CTE DB-HE a las edificaciones existentes, el propio documento establece unos criterios de aplicación generales, que más o menos se pueden resumir en los siguientes:

- **Criterio de no empeoramiento.** Este criterio supone que no se pueden empeorar las condiciones preexistentes, salvo que estas condiciones sean más exigentes que las establecidas en el Documento Básico Ahorro de Energía (DB-HE). Obviamente este último caso es muy difícil que se produzca en el parque edificatorio existente en nuestro país.
- **Criterio de flexibilidad.** En este apartado, el Documento Básico (DB), indica que en los casos en los que no se puedan alcanzar algunas exigencias del documento, se podrán adoptar aquellas soluciones que permitan la máxima adecuación posible siempre que esto se pueda justificar adecuadamente por ser edificios protegidos, no se produzca una mejora efectiva de las prestaciones de ahorro de energía, las soluciones a realizar no sean técnica o económicamente viables o que para cumplir se deben de intervenir en elementos de la envolvente o de las instalaciones que no se tenían previstos inicialmente.

Básicamente, este criterio busca que se mejoren los edificios de forma efectiva con las intervenciones que se van a realizar, dejando en un segundo plano (siempre en base a las circunstancias antedichas) el cumplimiento riguroso de los niveles prestacionales exigidos por el DB.

- **Criterio de reparación de daños.** En este último criterio, se establece que, si existen daños en la edificación que afecten a los requisitos del "Ahorro de energía", se deberá contemplar en las actuaciones su correcta rehabilitación y/o reparación.

Estos criterios de aplicación de DB-HE, pueden convertirse en un auténtico "calvario" para los proyectistas y los técnicos implicados en la rehabilitación energética del parque edificatorio, ya que, en muchas ocasiones y en función de las circunstancias de la edificación objeto de intervención, en muchos casos es muy difícil llegar a cumplir con todas las exigencias normativas establecidas en el documento básico.

Aunque a priori la aplicación del *criterio de flexibilidad* puede dar una justificación a la hora de no cumplir con algunos de los requisitos del DB-HE, como por ejemplo el *coeficiente de aislamiento global "K"*, pero en realidad puede ser que la interpretación que realizarán de estos criterios los técnicos de la administración encargados de validar u otorgar licencias para ejecutar estas intervenciones en los edificios, sea distinta.

Póngase un ejemplo para ilustrar esta circunstancia. Si se va a actuar en la rehabilitación energética de una edificación en bloque residencial entre medianeras, proponiendo mejorar la fachada de esta con un sistema de aislamiento térmico por el exterior (SATE) actuando únicamente en la fachada, el coste medio de dicha intervención puede estar en el año 2023 y según el generador de precios de CYPE, en unos 66€/m², lo que podría suponer un coste por vivienda asequible y obviamente supondría una mejora evidente en el comportamiento energético y el confort de la edificación. Sin embargo, sería difícil llegar a cumplir con el "K" límite en dicha edificación si no se actúa también en otros elementos de la envolvente como la cubierta y las carpinterías exteriores.

Teniendo en cuenta esto, la actuación en carpinterías exteriores en esta edificación, cambiando las carpinterías por otras con rotura de puente térmico y vidrios dobles adecuados para cumplir las exigencias del DB, esto supondría un sobrecoste de unos 585€/m² por la superficie de las carpinterías. Si se tiene en cuenta que el porcentaje de huecos de una edificación puede llegar fácilmente a valores de entre un 30% a un 50% de su superficie, el sobrecoste de esta intervención puede hacer que la misma sea inviable para los propietarios, por lo que, si no se aplicase el criterio de flexibilidad, la intervención al ser económicamente inasumible, dicha edificación se quedaría sin intervenir, y por tanto no se mejoraría su comportamiento ni se reduciría su consumo energético, que son, al fin y al cabo, los objetivos principales de la normativa existente en la actualidad.

Estas circunstancias hacen que sea importante que la administración pueda desarrollar mecanismos, guías y/o directrices para que se primen aquellas actuaciones que al fin y al cabo van a suponer una mejora sustancial del comportamiento energético del edificio, reduciendo su coste energético y mejorando la percepción del confort de los usuarios.

1.4.2 ESTRATEGIAS PARA MEJORAR EL BALANCE ENERGÉTICO DE UN EDIFICIO. CONSECUCCIÓN DE EDIFICIOS EECN

Como se ha visto en los conceptos explicados en el punto anterior, las estrategias para conseguir edificios (nuevos o rehabilitados) de alta eficiencia que puedan ser considerados como EECN, deben pasar por reducir las demandas energéticas al máximo, para abordarlas después con sistemas que se alimenten en una amplia medida con energías renovables y tengan rendimientos lo más altos posibles.

Si se observan las ecuaciones del *consumo energético* que se han mostrado anteriormente, lo primero es reducir la demanda lo máximo posible, es decir, intentar que nuestra vivienda sea lo más pasiva posible, aprovechando para ello el adecuado conocimiento de los balances energéticos que se van a producir intentando que estos sean lo más equilibrados posible. Una vez logrado este punto, la edificación necesitará muy poca energía para cubrir las demandas y esa poca energía se deberá extraer en un porcentaje razonable, de fuentes de energía renovables.

Hay que tener en cuenta que las pérdidas y ganancias pueden actuar en los dos sentidos, es decir, si en condiciones de invierno, se pretenden evitar las pérdidas energéticas a través de la envolvente, en condiciones de verano es, al contrario, las pérdidas de energéticas a través de los cerramientos exteriores van a disminuir las cargas térmicas de refrigeración. Lo mismo ocurre con las ganancias, si en invierno las ganancias energéticas por soleamiento contribuyen a disminuir las cargas por calefacción, en verano se deben evitar estas ganancias ya que lo que van a conseguir es que aumenten las cargas de refrigeración.

1.4.2.1 Estrategias para reducir la demanda energética

Para la reducción de la demanda energética de las edificaciones, se deben de tener en cuenta tres grandes factores, aunque es necesario tener en cuenta que de estas estrategias algunas de ellas son difícilmente modificables en el contexto de una rehabilitación energética.

- **Conseguir una envolvente eficiente:**

- o *Adecuando el aislamiento térmico a la climatología.*

Es decir, conseguir un nivel de aislamiento adaptado a cada climatología, un aislamiento excesivo en un clima donde predomina la demanda de refrigeración no permitirá una adecuada salida de las ganancias térmicas y justo al contrario en modo calefacción. Como en nuestro país las condiciones climáticas, en la mayoría del territorio nacional, tienen dos componentes principales, que son verano e invierno. Es por ello por lo que el propio CTE propugna una clasificación climática de dos dígitos. El primero una letra, que describe la severidad climática de invierno (α , A, B, C, D y E) siendo α el invierno más cálido y E, el invierno más crudo. El segundo dígito es un número que describe la severidad climática de verano (1, 2, 3 y 4), donde 1 es un verano muy fresco, mientras que el valor 4 indica un verano muy caluroso.

- o *Mejorando su estanqueidad al aire.*

Hay que tener en cuenta que uno de los parámetros que nos limita el DB-HE 1 es la permeabilidad al aire de las edificaciones residenciales¹⁵. Esta exigencia busca limitar las pérdidas o ganancias energéticas a través de las infiltraciones incontroladas de aire exterior.

- o *Adopción de soluciones constructivas que reduzcan y/o eliminen los puentes térmicos.*

Por último, para conseguir una envolvente eficiente, se deben de eliminar las discontinuidades en la misma (Figura 15), es decir, los puentes térmicos, que tendrán una mayor importancia cuanto mejor sea el aislamiento térmico del resto de la envolvente. Es decir, si se dispone de una muy buena envolvente térmica, la presencia de puentes térmicos va a suponer un importante sumidero de energía (sobre todo en condiciones de invierno), lo que no solo va a provocar importantes pérdidas, sino la aparición de lesiones como es la posible aparición de condensaciones superficiales o intersticiales en los componentes del puente térmico.

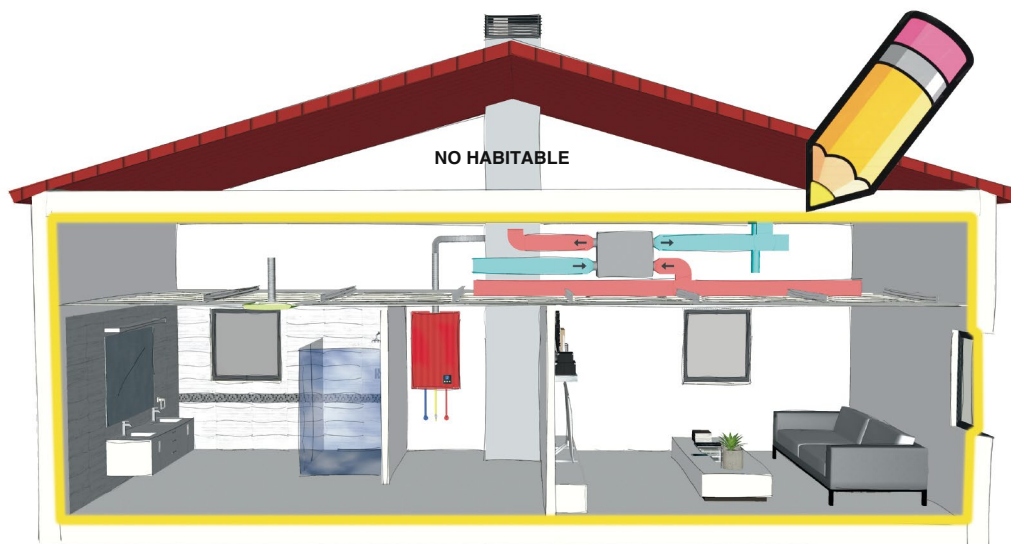


Figura 15. Envolvente continua que mejora la estanqueidad y la disminución de puentes térmicos.

¹⁵ Ver apartado 4, punto 3.1.3 del DB-HE 1.

- **Conseguir un adecuado control de las ganancias térmicas por radiación:**

- *Adecuar los sombreamientos de los huecos.*

Estos sombreamientos se pueden conseguir con sombras fijas y/o móviles. Para maximizar la ganancia solar en invierno y reducirla en verano, para así conseguir un aporte gratuito de energía solar en invierno y evitar en lo posible esta ganancia en verano (Figura 16). Adaptar nuestro edificio a las condiciones climáticas exteriores.

- *Ajustar el porcentaje de huecos.*

Algunas tendencias arquitectónicas y de diseño en fachadas genera grandes huecos en las mismas de forma totalmente irracional, pensando únicamente en la estética del edificio sin caer en su comportamiento energético. Hay que buscar adaptar los porcentajes de huecos, sus ubicaciones, su disposición y su forma a la climatología del lugar y la orientación que tengan las mismas. Hay que tener en cuenta que la mejor de las carpinterías, a efectos de transmisión térmica, siempre será mucho peor que el peor de los cerramientos que se tenga en la edificación.

- *Controlar la absorción térmica por radiación.*

El color de los elementos del edificio influye de una forma decisiva en la absorción energética por radiación solar de los cerramientos exteriores, ya sean fachadas o cubiertas. Como ejemplo solo mencionar los pueblos del su-reste español, que se caracterizan muchos de ellos por sus tradicionales fachadas blancas que intentan minimizar la cantidad de energía por radiación solar que pueda afectar a su comportamiento térmico.

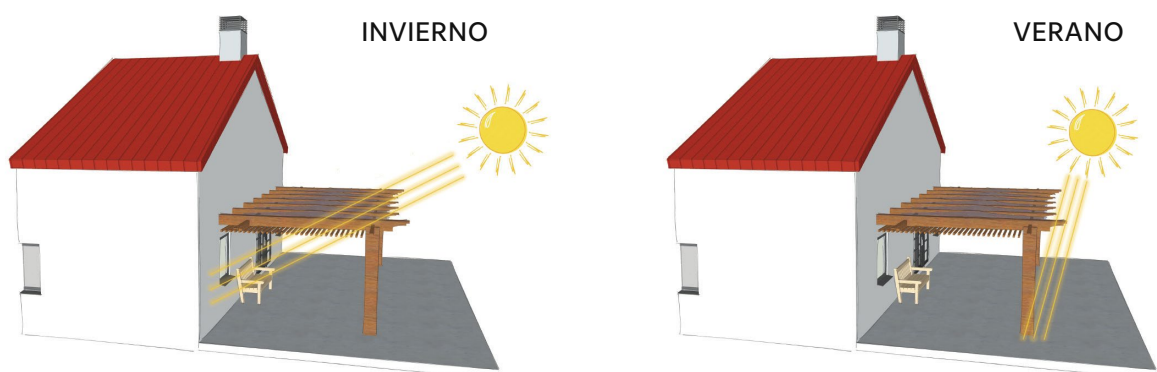


Figura 16. Protecciones solares.

- **Racionalización del diseño del edificio intentando integrar soluciones bioclimáticas.**

- *Ajustar la compacidad del edificio.*

Un edificio más compacto presenta una menor superficie expuesta y por lo tanto una menor área de intercambio térmico con el exterior, lo que se traduce en invierno en unas menores pérdidas energéticas y en verano en unas menores ganancias térmicas.

- *Aprovechar los sistemas de ventilación.*

La posibilidad la ventilación natural (ver Figura 17) para facilitar la evacuación de cargas térmicas y o la recuperación de la energía es fundamental. Poder abrir ventanas enfrentadas para mejorar las corrientes de aire puede ser una metodología muy válida para disminuir las cargas térmicas de refrigeración en las noches de verano.

- *Adecuar la distribución de espacios interiores.*

Un adecuado diseño de la distribución interior de las edificaciones residenciales, donde se definan adecuadamente las diferentes zonas de ocupación, día y noche, etc., puede aprovechar adecuadamente la radiación diurna, tanto para disminuir las necesidades de iluminación artificial, como para poder controlar el aporte solar en función de las condiciones exteriores.

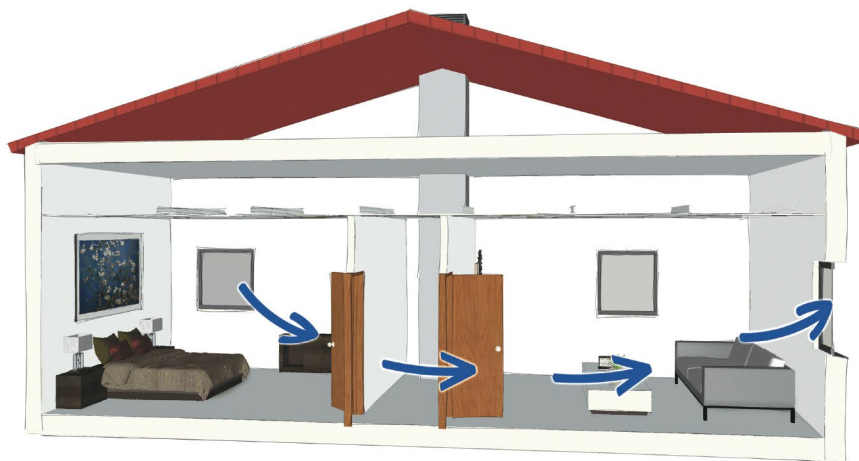


Figura 17. Ejemplo de ventilación cruzada en vivienda.

- o Adecuar el diseño de la edificación para adaptarlo al clima de cada zona.

Se debe observar la construcción tradicional o arquitectura vernácula de cada uno de los lugares de nuestro país. La configuración, distribución, composición y forma de muchas de las construcciones tradicionales logran adaptarse a los climas de cada una de las zonas, con tipologías de fachadas, distribuciones con patios interiores o inercia de los cerramientos. La construcción tradicional debe de ser una de las fuentes de inspiración para el diseño de viviendas lo más eficientes posibles.

A modo de resumen se pueden ver en la Figura 18 todas las estrategias enfocadas en reducir la demanda energética en un edificio.

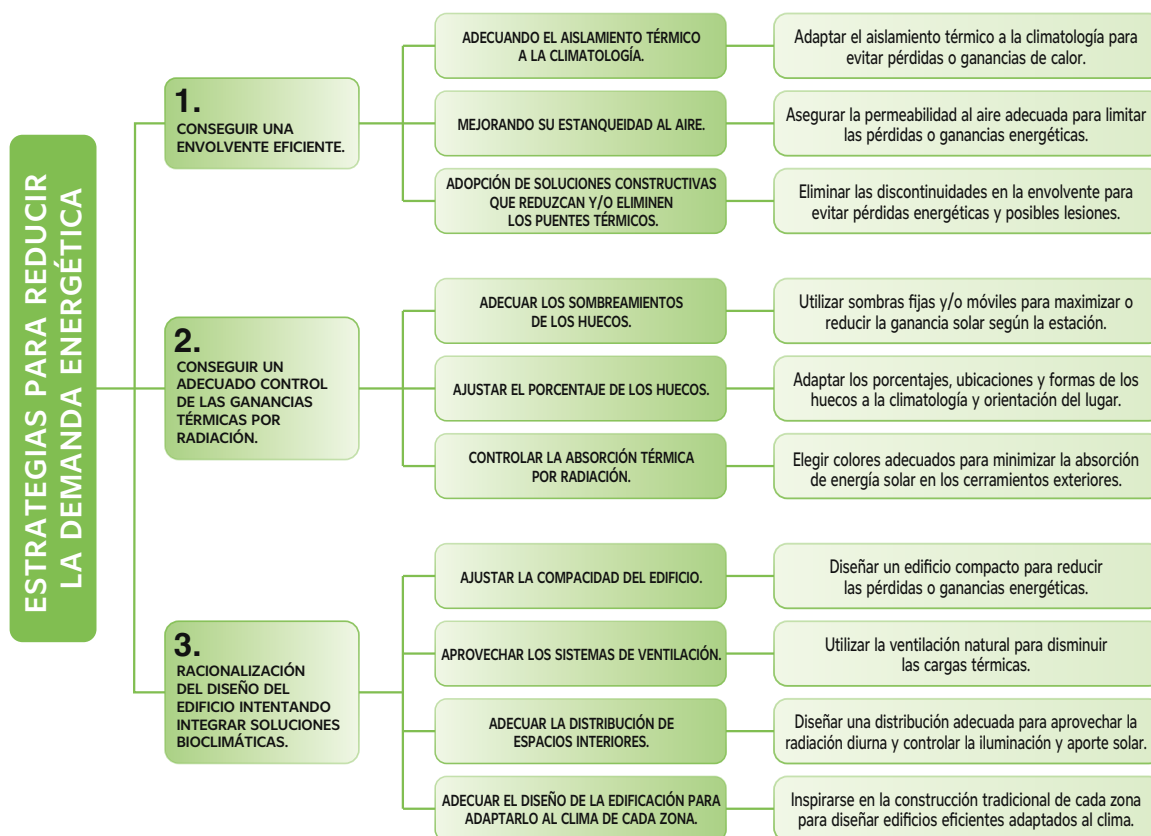


Figura 18. Resumen de estrategias para reducir la demanda energética en edificación.

1.4.2.2 Estrategias para disminuir el consumo de energías no renovables

Cuando se logre un edificio con demandas energéticas reducidas (calefacción, refrigeración, ACS e iluminación), éstas se tendrán que cubrir con sistemas altamente eficientes, consiguiendo así reducir los consumos energéticos. Además, estos consumos deben de ser, en un porcentaje importante, proveniente de fuentes de energía renovables.

Para ello se debe tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- *Utilización de equipos de climatización y ACS con altos rendimientos.*

Se deben de dejar de lado aquellos sistemas que no proporcionen una eficiencia adecuada (ver el etiquetado energético de los sistemas).

Hay que tener en cuenta que en marzo de 2021 (obligatoria para los sistemas de aire acondicionado desde 2022) entró en vigor en la Unión Europea la nueva versión de la etiqueta energética, destacando el reescalado de la clasificación, que pasa de la A+++ a la D, a una versión de la escala que va desde la A hasta la G (Figura 19).

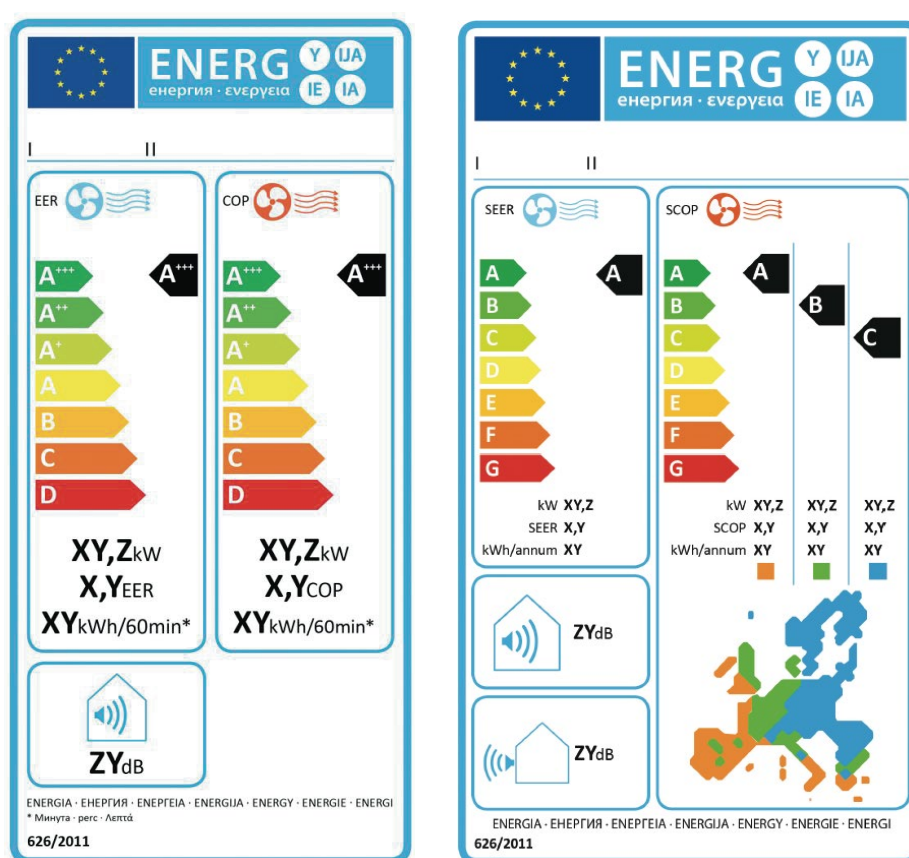


Figura 19. Nueva etiqueta energética a partir del 1 de marzo de 2021 (IDAE, 2021).

- *Mejorar los sistemas de iluminación en edificios terciarios.*

En edificios terciarios, una de las principales demandas energéticas viene dada por los sistemas de iluminación, por lo que se deberán utilizar sistemas eficientes y tener en cuenta, a ser posible, los sistemas de control de la iluminación natural, para su aprovechamiento.

Esta estrategia es muy útil en edificación terciaria existente, donde una gran parte de las luminarias existentes, aún hoy en día, utilizan tecnologías fluorescentes u otras mucho menos eficientes que las tecnologías actuales basadas en led. Como ejemplo se podría indicar que un tubo led de 16 W de potencia, puede equivaler a un tubo fluorescente de 30 W, con lo que supone un ahorro de prácticamente un 50% del consumo, que, si además se pueden que sumar el consumo de los balastros, aún se puede considerar ahorros mayores, entre un 60 y un 70%, teniendo en cuenta además que tienen una mayor vida útil y un encendido sin retardo y no genera grandes aportaciones de calor en verano.

Aunque no existe obligatoriedad de introducir mejoras en los sistemas de iluminación en los edificios residenciales, sería adecuado realizar propuestas para la actualización de las lámparas y luminarias de dichos edificios sobre todo en zonas comunes con tecnologías led, así como la incorporación de sistemas de control, como detectores de presencia, que mejoraría las demandas energéticas en el edificio.

- *Conseguir un adecuado control de los sistemas.*

Como se ha dicho anteriormente, el control de la temperatura y de la iluminación evitan despilfarros y un mejor aprovechamiento de los recursos naturales, por ello los sistemas de control inteligentes (domótica) cada vez van a ser más frecuentes.

En esta línea, además de la mejora del sistema de iluminación en base al cambio de luminaria, hay que tener en cuenta que, en muchas instalaciones, y con un simple control lumínico, se puede aprovechar la iluminación natural, de forma que el encendido de los sistemas sólo se produzca cuando disminuyan las condiciones de iluminación previstas.

Desde la Directiva de Eficiencia Energética en Edificios (Directiva 2018/844/UE) anima la utilización de tecnologías que permitan al edificio la gestión de las instalaciones, como de iluminación o climatización, aumentando el ahorro de energía y la mejora del confort. Asimismo, para conocer el nivel de control se define el indicador, Smart Readiness Indicator, SRI, el cual valora la capacidad de los edificios para ajustar el funcionamiento de las instalaciones a las necesidades de sus ocupantes, optimizar el uso de la energía y el rendimiento.



Figura 20. Vista de una cubierta de una vivienda unifamiliar con placas solares fotovoltaicas en primer plano y con una placa solar térmica al fondo (solo se observa el depósito de almacenamiento).

- *Utilización de fuentes de energía renovables "in situ".*

La crisis energética sufrida recientemente y la creación por parte de las administraciones de ayudas a la implantación de energías renovables en el sector residencial, ha llevado en los últimos tiempos a una importante extensión del uso de energías renovables, fundamentalmente energías solares fotovoltaicas (Figura 20) y térmicas.

La implantación de este tipo de sistemas en los edificios existentes puede conllevar reducciones de consumos energéticos no renovables en los sistemas implicados en la demanda energética, que en algunos casos pueden llegar a superar con creces el 30% del consumo energético inicial, lo que implica un ahorro económico para el usuario lo suficientemente importante para que la amortización de estos sistemas a corto y medio plazo sea muy interesante.

En la Figura 21, se establecen, de forma resumida, todas las estrategias definidas para disminuir el consumo de energía derivada de fuentes no renovables, definiendo diferentes usuarios y con la utilización de diversos sistemas.

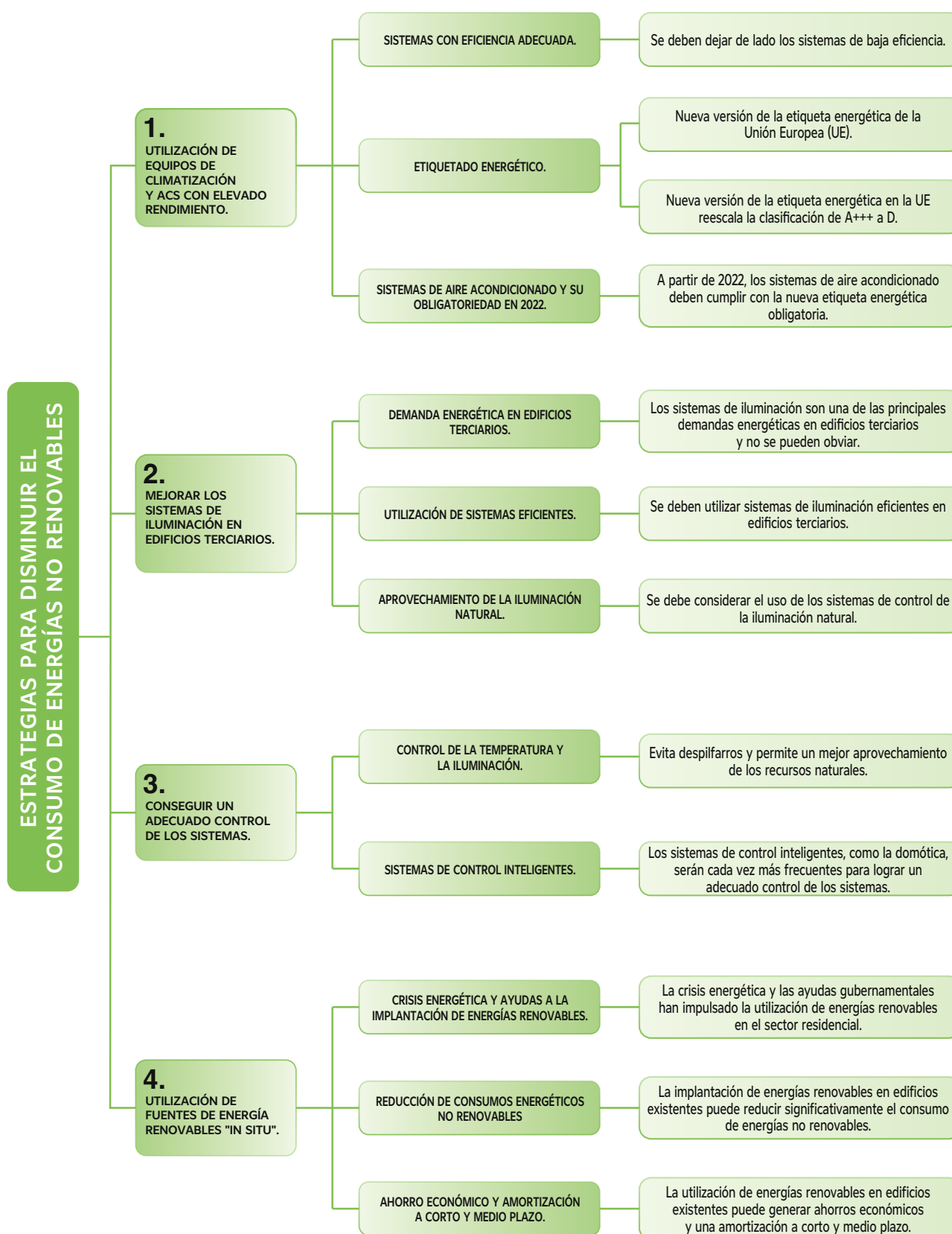


Figura 21. Resumen de estrategias para reducir el consumo de energía primaria no renovable.

2.1 LIMITACIONES ENERGÉTICAS EN LA ENVOLVENTE TÉRMICA

Para llevar a cabo una adecuada rehabilitación energética de la envolvente térmica de una edificación, es necesario tener en cuenta varios factores, como ya se ha visto anteriormente, pero sobre todo se deben limitar los consumos y demandas de la energía asociada al acondicionamiento térmico del edificio. A parte de la mejora en las instalaciones que utilice, es necesario, para llevar a cabo una mejora energética, establecer cuál es el estado inicial del edificio en cuanto a su envolvente térmica e identificar qué elementos necesitan una mejora y limitar la transmisión de calor de estos.

En caso de reformas o rehabilitaciones, los valores límite de transmitancia térmica (U , W/m^2K) (Figura 22) se aplicarán únicamente a los elementos de la envolvente térmica que se modifiquen sustancialmente, se sustituyan o se incorporen, o que se vean modificadas sus condiciones interiores o exteriores¹⁶.

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

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

Figura 22. Tabla 3.11.a – DB-HE 1 Valores límite de transmitancia térmica, U_{lim} [W/m^2K].

Las limitaciones establecidas, se producen para evitar las descompensaciones entre los elementos que conforman la envolvente térmica del edificio, pero no aseguran que la demanda energética esté en un nivel adecuado, para ello se establece un nuevo parámetro, el **Coefficiente global de transmisión de calor (K)** que nos va a determinar la calidad de esta envolvente, y que asegurará que la demanda energética que se produzca en el edificio sea la adecuada.

Este coeficiente es el cociente de la transmisión de calor de la envolvente y los puentes térmicos entre el área total de intercambio energético de la envolvente térmica. Es decir, es un indicador que define una media ponderada de la transmitancia térmica de toda la envolvente y que tiene como referente el denominado K_G que establecía la NBE-CT-79.

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

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

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

Figura 23. Tabla 3.11.b – DB-HE 1 Valor límite K_{lim} [W/m^2K] para uso residencial privado.

¹⁶ Ver párrafo 2 punto 3.11. Transmitancia de la envolvente térmica del CTE DB-HE 1

Este coeficiente K, que se calcula a partir de la ecuación 3, está limitado en base a lo establecido en las Tablas 3.1.1b (Figura 23) y 3.1.1.c del DB-HE 1, para uso residencial privado y para uso distinto del residencial privado, respectivamente, y conjuntamente está relacionado con la compacidad del edificio y de la zona climática donde se sitúe.

$$K = \frac{\sum b \times U_x \times A_x + \sum \Psi_x \times l_x}{\sum A_x} \quad (W/m^2K) \quad (3)$$

Siendo:

b = factor de ajuste para los elementos de la envolvente. Su valor es 1 excepto para elementos en contacto con edificios o espacios adyacentes donde toma el valor 0.

U_x = valor de la transmitancia térmica del elemento de la envolvente térmica considerado (W/m^2K).

A_x = área de intercambio del elemento de la envolvente térmica considerado (m^2).

Ψ_x = valor de la transmitancia térmica lineal del puente térmico considerado (W/mK).

l_x = la longitud del puente térmico considerado (m).

Para la determinación de este indicador, primero es necesario conocer los valores de transmitancia térmica de todos los elementos de la envolvente y comprobar que se encuentran dentro de los límites establecidos en el DB-HE 1. Asimismo, en reformas se podrán superar los valores de la Tabla 3.1.1.a-HE 1 (Figura 22) cuando el coeficiente global de transmisión de calor (K) obtenido considerando la transmitancia térmica final de los elementos afectados no supere el obtenido aplicando los valores de la Tabla de la Figura 23¹⁷.

En los siguientes apartados, se indicará el procedimiento de cálculo general para la determinación de la transmitancia térmica de los cerramientos en contacto con el aire exterior. Para el resto de las tipologías, como puede ser muros en contacto con el terreno o cubiertas enterradas, los procedimientos de cálculo correctos están establecidos en el Documento de Apoyo al Documento Básico DB-HE Ahorro de Energía 1 (DA DB-HE/1) (MITMA, 2020).

2.1.1 DETERMINACIÓN DE LA TRANSMITANCIA TÉRMICA DE LOS CERRAMIENTOS EN CONTACTO CON EL EXTERIOR (U_E)

El cálculo de la transmitancia térmica por cerramientos exteriores se puede aplicar a fachadas (U_M), cubiertas (U_C) y suelos en contacto con el aire exterior (U_S).

En este apartado se van a definir de forma genérica cuales son las ecuaciones de cálculo utilizadas para la transmitancia térmica (U) (ecuación 4) como para la resistencia térmica (R) de un cerramiento continuo (ecuación 5).

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

$$U_E = \frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_{si} + \frac{e_1}{\lambda_1} + \frac{e_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{e_n}{\lambda_n} + R_{se}} \quad (W/m^2K) \quad (4)$$

Siendo:

R_T = resistencia térmica total del componente constructivo [$m^2 K/W$].

R_{si} = resistencia térmica superficial interior (según Tabla 1 del DA DB-HE/1) [$m^2 K/W$].

e_x = espesor de cada una de las capas que configura el cerramiento [m].

λ_x = conductividad térmica de cada una de las capas que configura el cerramiento [$W/m K$].

R_{se} = resistencia térmica superficial exterior (según Tabla 1 del DA DB-HE/1) [$m^2 K/W$].

La resistencia térmica de una capa térmicamente homogénea viene definida por la ecuación 5:

$$R = \frac{e}{\lambda} \quad (m^2 K/W) \quad (5)$$

Siendo:

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

λ = conductividad térmica de diseño del material que compone la capa, calculada a partir de valores térmicos declarados según la norma UNE EN ISO 10456:2001 o tomada de Documentos Reconocidos, [$W/m K$].

¹⁷ Ver párrafo 2 punto 3.1.1. Transmitancia de la envolvente térmica del DB-HE 1

Para la rehabilitación energética de estos elementos de la envolvente en contacto con el aire exterior es necesario conocer cuál es valor inicial o existente de la transmitancia térmica del elemento, para que sirva como punto de partida para las posibles propuestas de mejora o rehabilitación energética.

Para determinar hasta donde debe de llegar esa propuesta de mejora se puede tener en cuenta los valores de transmitancia térmica recomendadas en el Anejo E del DB-HE 2019 (Figura 24). Pudiendo así, dimensionar el espesor de aislamiento y su conductividad adecuados para la mejora del cerramiento existente.

A diferencia de los valores de transmitancia límite que define el CTE DB HE-1 (Figura 22), estos valores de transmitancia orientativos o recomendados para el uso residencial privado aseguran el cumplimiento de las condiciones establecidas para el coeficiente global de transmisión de calor, K (ecuación 3) de la envolvente, siendo más exigentes.

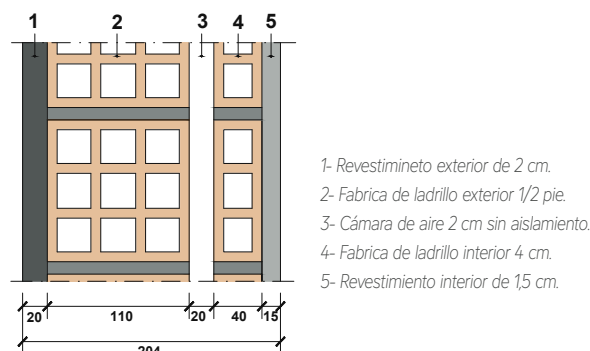
	Zona Climática de invierno					
	α	A	B	C	D	E
Muros y suelos en contacto con el aire exterior, U_m, U_s	0,56	0,50	0,38	0,29	0,27	0,23
Cubiertas en contacto con el aire exterior, U_c	0,50	0,44	0,33	0,23	0,22	0,19
Elementos en contacto con espacios no habitables o con el terreno, U_r	0,80	0,80	0,69	0,48	0,48	0,48
Huecos (conjunto de marco, vidrio y, en su caso, cajón de persiana), U_H	2,7	2,7	2,0	2,0	1,6	1,5

Figura 24. Tabla a-Anejo E. CTE DB-HE Transmitancia térmica del elemento, U [$W/m^2 K$].

Ejemplo.

Se supone que se dispone de un cerramiento de doble hoja con cámara de aire de 2 cm sin aislamiento térmico y con una hoja interior de 4 cm, ubicado en Madrid, con una zona climática D3. La transmitancia térmica de este cerramiento existente sería de $U = 1,36 W/m^2 K$ (apartado 2.1.2).

La Tabla a del Anejo E del DB-HE (Figura 24) para un cerramiento de fachada en la zona climática D, recomienda una transmitancia térmica menor o igual a $0,27 W/m^2 K$.



Si se pretende alcanzar dicho valor colocando un aislamiento térmico con una conductividad $\lambda = 0,032 W/mK$, los cálculos a realizar serían los siguientes:

1. Determinar la resistencia térmica del cerramiento:

$$U = \frac{1}{R_T} = 1,36 W/m^2 K; \text{ despejando } R_T = \frac{1}{U} = \frac{1}{1,36} = 0,73 m^2 K/W$$

2. Determinar la resistencia térmica deseada:

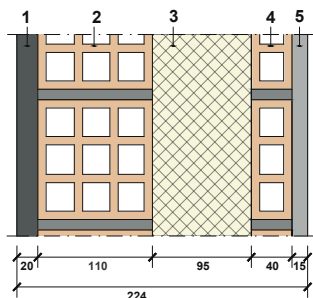
$$U = \frac{1}{R_T} = 0,27 W/m^2 K; \text{ despejando } R_T = \frac{1}{U} = \frac{1}{0,27} = 3,70 m^2 K/W$$

3. Determinar el incremento de resistencia térmica necesario:

Resistencia térmica deseada – Resistencia térmica existente:

$$R_{T \text{ deseada}} - R_{T \text{ existente}} = 3,70 - 0,73 = 2,97 m^2 K/W$$

4. Determinación del aislante térmico necesario para conseguir el incremento de resistencia:



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

despejamos espesor;

$$e = R \times \lambda = 2,97 \times 0,032 = 0,095 \text{ m} \rightarrow 9,5 \text{ cm.}$$

Este ejemplo además de mostrar el cálculo del espesor de un cerramiento con condiciones muy exigentes pone de manifiesto que este tipo de rehabilitación no tendría cabida a menos que se eliminara por completo la hoja interior y se volviera a construir. Por tanto, en los procesos de rehabilitación energética, no solo basta con el cumplimiento de la normativa, sino que es necesario buscar la solución más adecuada frente al cerramiento que hay que rehabilitar, aunque ello implique no cumplir con los valores más exigentes recomendados por la normativa, pero sí implicar una mejora del mismo teniendo en cuenta los criterios de no empeoramiento y de flexibilidad.

2.1.2 TRANSMITANCIAS TÉRMICAS EXISTENTES FRENTE A TRANSMITANCIAS TÉRMICAS ESTIMADAS O POR DEFECTO

Para el cálculo de la calificación energética de un edificio existente, los programas de certificación aprobados por el Ministerio proporcionan unos valores “por defecto” para los distintos componentes de la envolvente térmica. Estos valores por defecto son los mismos para todos los procedimientos simplificados de certificación energética de edificios existentes CE3, CE3X y CERMA (MITECO, 2024).

Estos valores que son función de la antigüedad del edificio y la zona climática (Tabla 3), asignan para cada uno de los periodos constructivos, unas transmitancias térmicas genéricas en cada una de las zonas climáticas y con una determinada masa (IDAE, 2020a).

Tabla 3. Valores por defecto de U (W/m^2K) y masa/superficie (kg/m^2) de los muros de fachada.

Periodo cronológico	Zona Climática	$U(W/m^2K)$	Masa (kg/m^2)
Anterior 1981		2,38	168
Entre 1981-2007	V y W	1,80	200
	X	1,6	
	Y	1,40	
	Z	1,40	
Entre 2007-2014	A	0,94	200
	B	0,82	
	C	0,73	
	D	0,66	
	E	0,57	
Después de 2014	a	0,94	200
	A	0,5	
	B	0,38	
	C	0,29	
	D	0,27	
	E	0,25	

En los programas CE3X y CERMA además de poder elegir esos valores por defecto, también, se proporcionan valores “estimados”, que se definen en base a la composición del cerramiento (una, dos hojas o aislamiento por el exterior), proporcionando unos valores de transmitancia U asociados a una masa determinada. Según los manuales de fundamentos técnicos de ambos procedimientos, estos valores estimados, son conservadores y el aislamiento térmico definido puede no coincidir con el real que incorporan los cerramientos (Tabla 4).

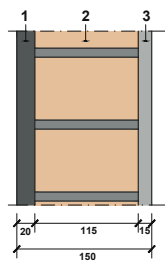
Tabla 4. Valores estimados de U (W/m^2K) y masa/superficie (kg/m^2) de los muros de fachada en función de la composición del cerramiento.

Composición del cerramiento		U (W/m^2K)	Masa (kg/m^2)
Una hoja	Muro de piedra	2,91	920
	Muro de adobe/tapial	1,81	680
	½ pie de fábrica de ladrillo	2,38	191
	1 pie de fábrica de ladrillo	1,69	343
	Fábrica de bloques de hormigón	2,56	168
	Fábrica de bloques de picón	1,69	180
	Entramado (8% madera, 80% yeso-cal-arena-ladrillo y 12% piedra)	2,94	780
Una hoja con aislamiento al exterior (p.e: Fachada ventilada)		213	200
Doble hoja con cámara	No ventilada	1,69	200
	Ligeramente ventilada	2,00	200
	Muy ventilada	3,12	200
	Rellena de aislamiento	Según aislamiento	200

Esta última consideración con respecto a los valores estimados, y la indefinición que aportan los valores por defecto, puede hacer que las transmitancias iniciales consideradas para los elementos de la envolvente, sean muy diferentes a las que realmente puedan poseer los cerramientos, por lo que los resultados de las mejoras y/o la propia implantación de estas, podrían ser muy dudosos con respecto al comportamiento energético de la edificación y realizar una rehabilitación energética poco eficaz.

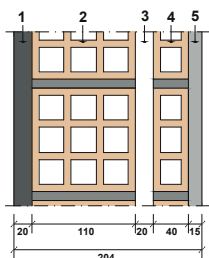
Para clarificar lo que se está exponiendo en este apartado, se van a realizar los cálculos de las transmitancias térmicas de diferentes cerramientos de fachada con las características conocidas de cada una de sus capas o composición. Este cálculo se ha realizado con la base de datos del Código Técnico de Edificación (CTE) y utilizando la Herramienta Unificada Líder Calener (HULC).

- **Fachada de una única hoja de medio pie de espesor:** Transmitancia térmica obtenida es: $U = 2,11 W/m^2K$.



	Material	Espesor	Conductividad	Densidad	Cp	Res.Térmica
1	Mortero de cemento o cal para albañilería y	0,020	1,000	1525	1000	
2	Tabicón de LH triple [100 mm < E < 110	0,110	0,427	920	1000	
3	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	0,015	0,570	1150	1000	
4						

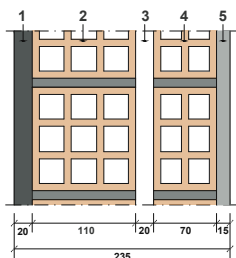
- **Fachada con doble hoja con cámara de aire de 2 cm y hoja interior de 4 cm sin aislamiento térmico:**
Valor obtenido de transmitancia térmica $U = 1,36 W/m^2K$.



	Material	Espesor	Conductividad	Densidad	Cp	Res.Térmica
1	Mortero de cemento o cal para albañilería y	0,020	1,000	1525	1000	
2	Tabicón de LH triple [100 mm < E < 110	0,110	0,427	920	1000	
3	Cámara de aire sin ventilar vertical 2 cm					0,170
4	Tabique de LH sencillo [40 mm < Espesor <	0,040	0,445	1000	1000	
5	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	0,015	0,570	1150	1000	
6						

- Fachada con doble hoja con cámara de aire de 2 cm y hoja interior de 7 cm sin aislamiento térmico:

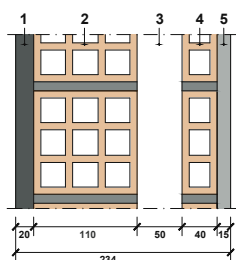
El valor de transmitancia térmica es $U = 1,24 \text{ W/m}^2\text{K}$.



Nº	Material	Espesor	Conductividad	Densidad	Cp	Res.Térmica
1	Mortero de cemento o cal para albañilería y	0,020	1,000	1525	1000	
2	Tabicón de LH triple [100 mm < E < 110	0,110	0,427	920	1000	
3	Cámara de aire sin ventilar vertical 2 cm					0,170
4	Tabicón de LH doble [60 mm < E < 90 mm]	0,070	0,432	930	1000	
5	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	0,015	0,570	1150	1000	
6						

- Fachada con doble hoja con cámara de aire de 5 cm y hoja interior de 4 cm sin aislamiento térmico:

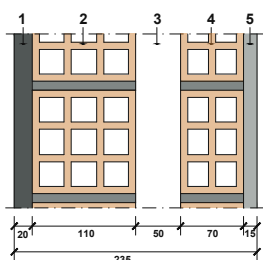
Transmitancia térmica obtenida del cerramiento: $U = 1,34 \text{ W/m}^2\text{K}$.



Nº	Material	Espesor	Conductividad	Densidad	Cp	Res.Térmica
1	Mortero de cemento o cal para albañilería y	0,020	1,000	1525	1000	
2	Tabicón de LH triple [100 mm < E < 110	0,110	0,427	920	1000	
3	Cámara de aire sin ventilar vertical 5 cm					0,180
4	Tabique de LH sencillo [40 mm < Espesor <	0,040	0,445	1000	1000	
5	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	0,015	0,570	1150	1000	
6						

- Fachada con doble hoja con cámara de aire de 5 cm y hoja interior de 7 cm sin aislamiento térmico:

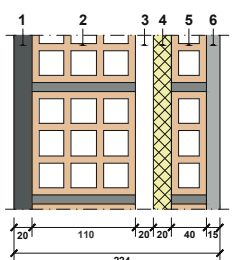
Valor de transmitancia térmica: $U = 1,24 \text{ W/m}^2\text{K}$.



Nº	Material	Espesor	Conductividad	Densidad	Cp	Res.Térmica
1	Mortero de cemento o cal para albañilería y	0,020	1,000	1525	1000	
2	Tabicón de LH triple [100 mm < E < 110	0,110	0,427	920	1000	
3	Cámara de aire sin ventilar vertical 5 cm					0,180
4	Tabicón de LH doble [60 mm < E < 90 mm]	0,070	0,432	930	1000	
5	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	0,015	0,570	1150	1000	
6						

- Fachada con doble hoja con aislamiento 2 cm EPS $\lambda = 0,037 \text{ W/mK}$, cámara de 2 cm y hoja interior de 4 cm:

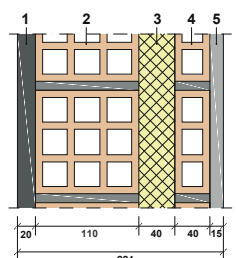
La transmitancia térmica calculada para este cerramiento es $U = 0,79 \text{ W/m}^2\text{K}$.



Nº	Material	Espesor	Conductividad	Densidad	Cp	Res.Térmica
1	Mortero de cemento o cal para albañilería y	0,020	1,000	1525	1000	
2	Tabicón de LH triple [100 mm < E < 110	0,110	0,427	920	1000	
3	Cámara de aire sin ventilar vertical 2 cm					0,170
4	EPS Poliestireno Expandido [0.037 W/[mK]]	0,020	0,038	30	1000	
5	Tabique de LH sencillo [40 mm < Espesor <	0,040	0,445	1000	1000	
6	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	0,015	0,570	1150	1000	
7						

- Fachada con doble hoja con aislamiento 4 cm EPS $\lambda = 0,037 \text{ W/mK}$, SIN cámara y hoja interior de 4 cm:

Valor de la transmitancia térmica: $U = 0,62 \text{ W/m}^2\text{K}$.



Nº	Material	Espesor	Conductividad	Densidad	Cp	Res.Térmica
1	Mortero de cemento o cal para albañilería y	0,020	1,000	1525	1000	
2	Tabicón de LH triple [100 mm < E < 110	0,110	0,427	920	1000	
3	EPS Poliestireno Expandido [0.037 W/[mK]]	0,040	0,038	30	1000	
4	Tabique de LH sencillo [40 mm < Espesor <	0,040	0,445	1000	1000	
5	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	0,015	0,570	1150	1000	
6						

Si se comparan los resultados de las tipologías anteriores con los valores por defecto o estimados que se podrían establecer en los procedimientos simplificados de certificación energética, se puede ver que las diferencias son notables en muchas ocasiones, tal y como se observa en la siguiente Tabla, donde se ha tomado como zona climática de referencia la zona climática para Madrid D3 (zona Y para la NBE-CT-79).

Tabla 5. Comparativa de los valores de transmitancia térmica por defecto, estimados y calculados en muros de fachada.

Tipo de cerramiento	Composición equivalente a cerramiento estimado	Valor por defecto	Valor estimado	Valor calculado	% de variación con respecto al valor estimado
Fachada de una única hoja de ½ pie de espesor	½ pie fábrica de ladrillo	< 1981: 2,38 1981-2007: 1,40	2,38	2,11	27,00%
Fachada doble hoja con cámara de 2 cm y hoja interior de 4 cm	Doble hoja con cámara no ventilada	< 1981: 2,38	1,69	1,36	24,26%
Fachada doble hoja con cámara de 2 cm y hoja interior de 7 cm		1981-2007: 1,40		1,24	36,29%
Fachada doble hoja con cámara de 5 cm y hoja interior de 4 cm		2007-2014: 0,66		1,34	26,12%
Fachada doble hoja con cámara de 5 cm y hoja interior de 7 cm		>2014: 0,27		1,23	37,40%
Fachada doble hoja con aislamiento 2 cm EPS $\lambda=0,037$ W/mK, cámara de 2 cm y hoja interior de 4 cm	Doble hoja con cámara no ventilada + aislamiento	< 1981: 2,38 1981-2007: 1,40	0,98*	0,79	24,05%
Fachada doble hoja con aislamiento 4 cm EPS $\lambda=0,037$ W/mK, SIN cámara y hoja interior de 4 cm		2007-2014: 0,66 >2014: 0,27	0,69*	0,62	11,29%

* El resultado obtenido se ha calculado con el programa CE3X, añadiendo a las propiedades estimadas la selección de "Tiene aislamiento térmico" e indicando que se estima un EPS del espesor de cada una de las opciones. El programa también considera la existencia de una cámara de aire de la cual no indica espesor.

Si se observa la Tabla 5, cuando en los cerramientos analizados no existe aislamiento térmico o su composición es de una única hoja, las diferencias entre los valores "reales" o calculados según su composición, con respecto a los valores por defecto en los procedimientos simplificados son demasiado dispares para tenerlos en cuenta para una mejora de la envolvente térmica. No obstante, los valores "estimados" se acercan más a los calculados, esto es debido a que cuanto más información se le proporciona a los procedimientos simplificados de cálculo, más próximos estarán de sus valores reales.

Hay que tener en cuenta, que quizá la mejor opción es que el técnico que realiza la toma de datos, con la inspección visual realizada, la medición de los espesores totales de los cerramientos y su propia experiencia defina "aproximadamente" la composición de los elementos y lo calcule de forma "conocida", para así poder obtener valores lo más parecidos a la realidad y tener bajo control los datos que se han tenido en cuenta en la determinación del comportamiento térmico de la envolvente.

2.2 LA TOMA DE DATOS. UTILIZACIÓN DE TÉCNICAS Y APARATOS PARA EL ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO ENERGÉTICO

Para poder afrontar adecuadamente la rehabilitación energética de un edificio existente, es primordial conocer lo mejor posible el funcionamiento energético del edificio antes de su intervención, para ello hay que efectuar una correcta toma de datos y análisis de la edificación existente, cuyo alcance dependerá únicamente de la precisión que se necesite y la importancia de las obras a realizar en la edificación objeto de estudio.

Existen multitud de técnicas y metodologías que el técnico puede utilizar para una adecuada toma de datos y que después se verán reflejadas a la hora de utilizar dichos datos en la tarea de realizar la certificación energética de la edificación utilizando los documentos reconocidos por el Ministerio.

Uno de los puntos más importantes a obtener en el análisis energético de una edificación a rehabilitar, es el comportamiento de su envolvente, para ello, se debe realizar una aproximación de los valores de las transmitancias térmicas (U) de cada uno de los elementos que configuran dicha envolvente.

Los procedimientos de certificación energética para los edificios existentes nos dan distintos niveles de precisión en la entrada de datos, para la definición del mismo. Desde el nivel menos preciso, donde en función de la época de construcción de la edificación y en base a la normativa vigente en ese momento, nos pueden ofrecer datos "por defecto", pasando por valores "aproximados" en base a una composición mínima estimada del elemento, llegando a valores "conocidos" en base a cálculos o determinaciones obtenidas por el técnico. Influyendo como ya se ha visto en apartados anteriores, en una definición más exhaustiva del comportamiento energético del edificio.

Normalmente la elección de entre estos niveles de entradas de datos va a depender de:

- La documentación inicial que el usuario del edificio pueda aportar al técnico. Este sería el caso de poder contar con los proyectos originales de construcción de la edificación, fotografías de la construcción del elemento, informes, ensayos, etc.
- Los requisitos fijados por el propietario del edificio, es decir, si la certificación energética se realiza como un trámite necesario para realizar una venta o alquiler de la edificación o si se pretende utilizar como base para el desarrollo posterior de un proyecto de rehabilitación energética. En este último caso, la mayor precisión en los datos obtenidos e introducidos en el procedimiento es fundamental.
- Los condicionantes propios del edificio, como el uso, las posibles limitaciones a la hora de implementar medidas de mejora, las restricciones por protección patrimonial, las normativas vigentes (fundamentalmente las ordenanzas municipales), etc.

En función de estos factores, se determinará el alcance de la toma de datos que se lleve a cabo en la edificación a analizar.

2.2.1 DATOS NECESARIOS PARA LA REHABILITACIÓN ENERGÉTICA

Para poder afrontar adecuadamente una rehabilitación energética en un edificio de viviendas se necesita obtener los siguientes datos:

- **DATOS GENERALES:**

Estos datos están compuestos por los datos administrativos del peticionario y de la edificación. Entre otros la situación, referencias catastrales, fecha de construcción, etc.

Este primer punto pasa inicialmente por la puesta en contacto del técnico con el cliente, donde se obtendrán datos personales y si es posible otros datos como proyectos, facturas de suministros energéticos, etc. Esta puesta en contacto también definirá el alcance total de la toma de datos y la finalidad de esta.

Un segundo paso, se realizará en el despacho y/o en archivos municipales para la obtención de la máxima cantidad de información del edificio, como ubicación, referencia catastral, proyectos de ejecución, fechas de construcción, etc.

En este sentido, aparece con el Real Decreto 853/2021, de 5 de octubre, por el que se regulan los programas de ayuda en materia de rehabilitación residencial y vivienda social del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia, el Libro del Edificio Existente (LEEx), como una herramienta fundamental para la planificación de las intervenciones de rehabilitación de edificios, ya que incluye, en su primer bloque, el diagnóstico del estado del edificio y un plan para su uso y mantenimiento, y en un segundo bloque, un análisis de las posibles mejoras y se establece un plan de etapas con su valoración económica. Este Libro del Edificio Existente es uno de los documentos necesarios en los programas de ayudas Next Generation, a nivel de barrio o nivel de edificio. Para facilitar su elaboración el Consejo General de la Arquitectura Técnica de España, junto con otras entidades, elaboraron el Índice comentado del Libro del Edificio Existente (CGATE,

2021). De forma complementaria al índice comentado, el Colegio Oficial de Aparejadores, Arquitectos Técnicos e Ingenieros de Edificación de la Región de Murcia editó un Manual práctico para la redacción del Libro del edificio existente para la rehabilitación (COAATIEMU, 2022), que incluye metodología y ejemplos para abordar la redacción de este Libro. Además, otros colegios han desarrollado aplicaciones informáticas, el Consejo de Colegios de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Aragón¹⁸ y el Col·legi de l'arquitectura Tècnica de Barcelona¹⁹, que facilitan la realización y seguimiento de este Libro como herramienta fundamental en edificios existentes.

- **DATOS DIMENSIONALES:**

Para la correcta definición del edificio se necesitan las dimensiones de este para poder así obtener correctamente las características de los espacios que van a estar definidos por la envolvente térmica.

Como ya se ha indicado anteriormente, es vital definir la envolvente de la forma más adecuada, por lo que es necesario previamente a la toma de datos más intensa, el haber definido un esquema de esta, para así poder centrar los esfuerzos del técnico en tomar los datos de los elementos más importantes y que se necesitan definir mejor de la edificación.

Para ello se plantean dos opciones, la primera sería la posibilidad de contar con el proyecto original del edificio y de cualquier reforma que se haya podido realizar en el mismo. Obviamente se necesitará comprobar que las dimensiones y elementos reflejados en los planos corresponde con la realidad.

La otra opción, de no contar con la planimetría adecuada, pasa por realizar un levantamiento planimétrico de la edificación centrado en la definición de la envolvente, de forma que se definan convenientemente los espacios considerados dentro de la envolvente y aquellos cerramientos que la definen.

Se deberán obtener las dimensiones superficiales de todos los elementos que componen la envolvente y de aquellos que la pueden afectar (como espacios adyacentes no habitables que puedan actuar como amortiguadores de la transmitancia térmica).

- **DATOS DE COMPOSICIÓN DE LA ENVOLVENTE:**

Determinar las características técnicas de la envolvente va a ser uno de los puntos determinantes en la toma de datos tanto para la certificación energética como para un posible proyecto de rehabilitación energética. Ya que hay que tener en cuenta que cuando más preciso es este conocimiento, la determinación de la transmitancia térmica va a ser más exacta, lo que provocará que se obtengan resultados de demandas más precisos y que se puedan dimensionar con mayor precisión las posibles mejoras energéticas a introducir en la rehabilitación del edificio.

- **DATOS DE LAS INSTALACIONES EXISTENTES:**

La toma de datos de las instalaciones de climatización, ACS y ventilación también son cruciales, para poder determinar sus características, su posible necesidad de actualización y la determinación de qué partes o equipos de estas se pueden aprovechar o cambiar. De hecho, la repercusión que tiene el ACS en la calificación energética final es muy elevada y es muy importante definirla correctamente.

Para ello se debe intentar conseguir sus denominaciones (marca y modelo), para así poder buscar sus fichas técnicas.

Habrán ocasiones que se tenga que recurrir a instaladores para poder realizar una adecuada toma de datos, ya que estos estarán más capacitados para evaluar el correcto funcionamiento de algunas instalaciones y poder así contar con argumentos adecuados para recomendar el cambio, la reparación o la no sustitución de toda o una parte de la instalación.

2.2.2 HERRAMIENTAS PARA LAS TOMAS DE DATOS. DETERMINACIÓN DE LA COMPOSICIÓN Y TRANSMISIÓN DE LOS CERRAMIENTOS EXISTENTES

Como ya se ha indicado, conocer las características de los cerramientos que componen la envolvente nos va a proporcionar datos de transmitancia térmica mucho más precisos de los que partir para realizar un adecuado estudio del comportamiento energético, y poder así determinar y dimensionar mejor las posibles mejoras que se puedan implementar en la edificación, y que incluso puedan afectar a la envolvente.

Las herramientas más comunes en el mercado que se pueden utilizar para favorecer la determinación de la composición de los cerramientos son las siguientes:

¹⁸ CCAATA, "Aplicación Libro del Edificio Existente (LEEx)", <https://www.cgate-coaat.com/leex/leex.asp> y <https://ayudalibroedificioexistente.es/>.

¹⁹ CATEB, "Aplicación Libro del Edificio", <https://libroedificioigital.es>.

- **Realización de catas:** esta es la forma más invasiva, en la que normalmente se realiza un hueco que puede atravesar la casi totalidad del cerramiento para así poder definir las capas que lo configuran (Figura 25). Es el método más preciso, ya que se tiene un acceso total a la naturaleza y espesor de cada una de las capas que componen el cerramiento.
- **Utilización de boroscopio:** se trata de un instrumento óptico, dotado con una microcámara para la inspección de lugares estrechos (Figura 26). Normalmente se realiza una perforación (de entre 5 y 10 mm de diámetro) que pueda atravesar la práctica totalidad del cerramiento, para posteriormente introducir la cámara para determinar el espesor y la naturaleza de las capas.



Figuras 25 y 26. A la izquierda cata realizada en el antepecho de una cubierta y a la derecha inspección de aislamiento en una cámara de aire mediante un boroscopio.

- **Cámaras termográficas:** es la técnica menos invasiva, ya que no existe ningún tipo de contacto directo con el cerramiento. La termografía infrarroja nos permite la inspección de toda la envolvente térmica proporcionándonos datos como la continuidad de los elementos que la conforman (Figura 27), la detección de puentes térmicos y posibles discontinuidades en los elementos de aislamiento utilizados, e incluso nos puede ayudar a determinar la ubicación de entradas incontroladas de aire a través de los cerramientos y otros elementos de la envolvente.

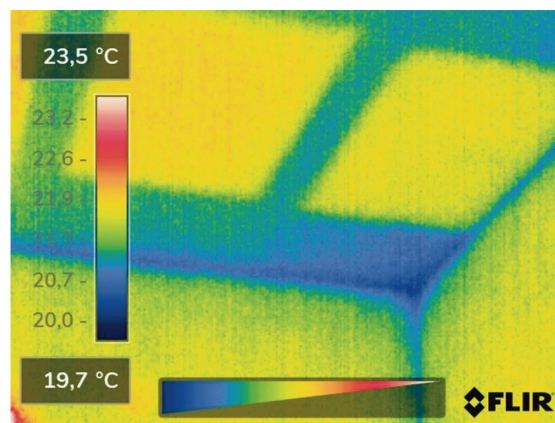
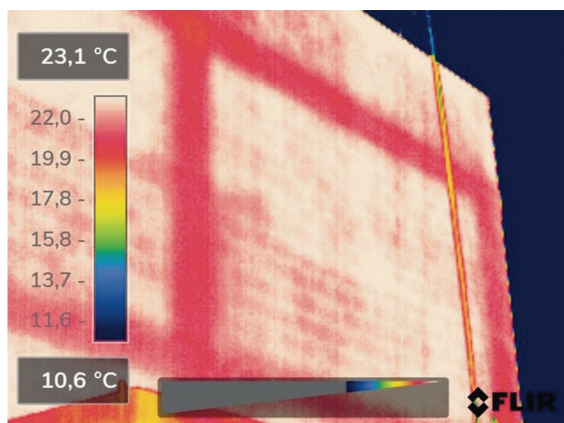


Figura 27. Detalles de imágenes termográficas. A la izquierda termografía puentes térmicos medianería. A la derecha termografía cubierta desde el interior de la vivienda.

Estas metodologías nos permiten determinar en mayor o menor medida la composición de los cerramientos y la naturaleza de sus capas, pudiéndose apoyar en otras observaciones más sencillas como es la medición del espesor de los cerramientos debido a la existencia de huecos, disponer de datos de los proyectos de la edificación u otras fuentes de información que el técnico pueda utilizar.

Hay que tener en cuenta, que salvo que se tenga algún tipo de documentación y/o certificación, es muy difícil determinar la conductividad térmica de los materiales aislantes en edificaciones existentes, siendo la naturaleza del aislante y su espesor el único dato cierto que se puede obtener en la mayoría de las situaciones.

Las características térmicas del resto de capas (hojas de ladrillo, revestimientos, etc.), normalmente se podrán obtener con una adecuada exactitud del "Catálogo de elementos constructivos del CTE", donde se pueden obtener datos de transmitancia y/o resistencia térmica de la mayoría de los elementos de obra utilizados en la construcción de los cerramientos.

2.3 EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO ENERGÉTICO DE LA ENVOLVENTE EXISTENTE

Una vez obtenidos o aproximados los valores de transmitancia térmica de la envolvente de un edificio, se ha de analizar su importancia dentro del comportamiento energético del edificio. Aquellos cerramientos con más superficie expuesta y con una mayor conductividad, les corresponderá un mayor balance en el comportamiento global de la edificación y deberían ser los primeros en mejorarse, ya que con ellos el rendimiento de las mejoras será mayor.

2.3.1 ANÁLISIS DEL COEFICIENTE GLOBAL DE TRANSMISIÓN DE CALOR K

Para ello hay que tener en cuenta el cálculo del *Coficiente Global de Transmisión de Calor "K"* introducido anteriormente en la presente publicación, donde si se desarrolla la ecuación 3 que la define, en base a lo indicado en el CTE, la composición del coeficiente K se mostraría como sigue:

$$K = \frac{\sum_x b_{tr,x} [\sum_i A_{x,i} U_{x,i} + \sum_k l_{x,k} \psi_{x,k} + \sum_j X_{x,j}]}{\sum_x \sum_i b_{tr,x} A_{x,i}} \quad (\text{W/m}^2\text{K}) \quad (6)$$

Donde:

$b_{tr,x}$ = factor de ajuste para los elementos de la envolvente. Su valor es 1 excepto para elementos en contacto con edificios o espacios adyacentes donde toma el valor 0.

$A_{x,i}$ = área de intercambio del elemento de la envolvente térmica considerado (m^2).

$U_{x,i}$ = valor de la transmitancia térmica del elemento de la envolvente térmica considerado, para el que se dispone de valores aceptables en el Documento de Apoyo de parámetros característicos de la envolvente (DA DB-HE/1) y en normas UNE-EN ISO relacionadas ($\text{W/m}^2\text{K}$).

$l_{x,k}$ = longitud del puente térmico considerado (m).

$\psi_{x,k}$ = valor de la transmitancia térmica lineal del puente térmico considerado para el que se dispone de valores aceptables en el Documento de Apoyo de parámetros característicos de la envolvente (DA DB-HE/3) y en normas UNE-EN ISO relacionadas (W/mK).

$X_{x,j}$ = la transmitancia puntual del puente térmico considerado (W/K).

Si se analiza la ecuación 6, se puede observar que el "peso" de cada uno de los elementos de la envolvente térmica va en función de su área y de su transmitancia térmica, por lo tanto, se puede calcular o estimar la importancia que tiene cada uno de los elementos de la envolvente térmica sobre la transmitancia térmica total de la edificación a rehabilitar.

A continuación, se muestra un ejemplo de un edificio entre medianerías, donde se han obtenido y/o aproximado los valores de las transmitancias térmicas de los cerramientos de la envolvente, para una vez determinados estos valores, obtener el *Coficiente Global de Transmitancia Térmica "K"*.

Ejemplo.

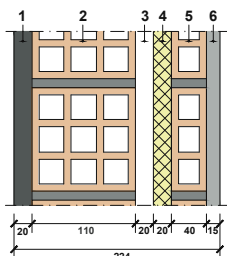
Edificio entre medianerías, situado en Albacete (D3) y construido en 1985. Está compuesto por planta baja para local sin uso, con tres plantas destinadas a viviendas de 3 metros de altura. El edificio cuenta con dos fachadas, una principal y otra a patio posterior, con un ancho de 15 m y 6 ventanas por planta de 1,2 m^2 tanto en fachada principal como en la posterior. La longitud de las medianerías es de 10 m.



Figura 28. Envolvente térmica del edificio entre medianeras.

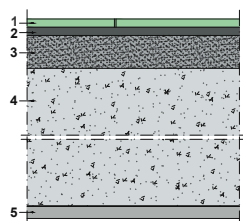
La envolvente del edificio viene definida por la línea roja que se aprecia en la Figura 28 y cuenta con la siguiente composición de cerramientos:

- **Fachada con doble hoja con aislamiento 2 cm EPS $\lambda= 0,037$ W/mK, cámara de 2 cm y hoja interior de 4 cm:**
 $U= 0,79$ W/m²K, este valor de transmitancia térmica se ha obtenido mediante los valores definidos en el CTE y con la herramienta informática HULC.



Nº	Material	Espesor	Conductividad	Densidad	Cp	Res.Térmica
1	Mortero de cemento o cal para albañilería y	0,020	1,000	1525	1000	
2	Tabicón de LH triple [100 mm < E < 110	0,110	0,427	920	1000	
3	Cámara de aire sin ventilar vertical 2 cm					0,170
4	EPS Poliestireno Expandido [0,037 W/[mK]]	0,020	0,038	30	1000	
5	Tabique de LH sencillo [40 mm < Espesor <	0,040	0,445	1000	1000	
6	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	0,015	0,570	1150	1000	
7						

- **Forjado con planta baja unidireccional de canto 30 y bovedilla cerámica:** El valor de transmitancia térmica es:
 $U_p= 1,27$ W/m²K.

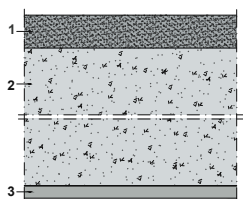


	Material	Espesor	Conductividad	Densidad	Cp	Res.Térmica
1	Gres calcáreo 2000 < d < 2700	0,008	1,900	2350	1000	
2	Mortero de cemento o cal para albañilería y	0,040	1,000	1525	1000	
3	Arena y grava [1700 < d < 2200]	0,040	2,000	1450	1050	
4	FU Entrevidado cerámico -Canto 300 mm	0,300	0,846	1110	1000	
5	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	0,015	0,570	1150	1000	
6						

Considerando que el espacio de planta baja es un local sin uso (no habitable), ligeramente ventilado y con una superficie de cerramientos en contacto con el exterior de 135 m² sin ningún tipo de aislamiento térmico.

Aplicando lo establecido en el apartado 2.1.31. del DA DB HE/1 para el cálculo de la transmitancia térmica en particiones interiores, se estaría en el caso 1 y con una relación $A_{h-nh} / A_{nh-e} = 150 / 135 = 1,11$, por lo que el valor obtenido para el coeficiente amortiguador (b) en la Tabla 7 del mencionado documento resultaría 0,65. Por lo tanto, la transmitancia térmica del cerramiento sería: $U= U_p \times b = 1,27 \times 0,65 = 0,83$ W/m²K.

- **Forjado última planta separación con espacio bajo cubierta:** $U_p= 1,61$ W/m²K.

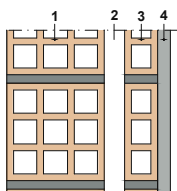


	Material	Espesor	Conductividad	Densidad	Cp	Res.Térmica
1	Mortero de cemento o cal para albañilería y	0,040	1,000	1525	1000	
2	FU Entrevidado cerámico -Canto 300 mm	0,300	0,846	1110	1000	
3	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	0,015	0,570	1150	1000	
4						

Considerando que el espacio bajo cubierta está considerado como no habitable, ligeramente ventilado y con una superficie de cerramientos en contacto con el exterior de 165 m² sin ningún tipo de aislamiento térmico.

Aplicando lo establecido en el apartado 2.1.31. del DA DB HE/1 para el cálculo de la transmitancia térmica en particiones interiores, se estaría en el caso 1 y con una relación $A_{h-nh} / A_{nh-e} = 150 / 165 = 0,91$, por lo que el valor obtenido para el coeficiente amortiguador (b) en la Tabla 7 del mencionado documento resultaría 0,70. Por lo tanto, la transmitancia térmica del cerramiento sería: $U= U_p \times b = 1,61 \times 0,70 = 1,13$ W/m²K.

- **Medianerías con edificaciones colindantes:** El valor calculado de transmitancia térmica es: $U_p= 1,59$ W/m²K.



	Material	Espesor	Conductividad	Densidad	Cp	Res.Térmica
1	Tabicón de LH triple [100 mm < E < 110	0,110	0,427	920	1000	
2	Cámara de aire ligeramente ventilada vertical 2					0,085
3	Tabique de LH sencillo [40 mm < Espesor <	0,040	0,445	1000	1000	
4	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	0,015	0,570	1150	1000	
5						

- **Carpinterías exteriores con marcos de aluminio sin rotura de puente térmico y vidrios simples de 6 mm:** $U = 6,27 \text{ W/m}^2\text{K}$, este valor se ha obtenido de la herramienta informática HULC, definiendo el tipo de ventana.

- **Puente térmico encuentro fachada - forjado:** $\psi = 0,97 \text{ W/m K}$ (valor obtenido mediante el programa HULC o del atlas de puentes térmicos, DA DB HE/3) y 120 m lineales.
- **Puente térmico carpinterías:** $\psi = 0,55 \text{ W/m K}$ (valor obtenido mediante el programa HULC o del atlas de puentes térmicos, DA DB HE/3) y 158,4 m lineales.
- **Puente térmico pilares:** no se han considerado ya que, en todos los pilares de la envolvente térmica, el aislante térmico los rodea ya sea por el exterior o por el interior.

Una vez obtenidas las transmitancias térmicas de todos los elementos que componen la envolvente, el cálculo del coeficiente K, partiendo de la ecuación 6 sería el siguiente:

Elemento	U (W/m² K)	A (m²)	b _{tr,x}	b _{tr,x} × U × A (W/K)
Fachadas	0,79	226,80	1,00	179,17
Forjado separación con cubierta	1,13	150,00	0,00	0,00
Forjado separación con local	0,83	150,00	0,00	0,00
Carpinterías exteriores	6,27	43,20	1,00	270,86
Medianeras	1,59	180,00	0,00	0,00
SUBTOTALES		270,00		450,04

Tipo de puente térmico	ψ (W/m K)	l (m)	b _{tr,x}	b _{tr,x} × ψ × L (W/K)
PT frente de forjado	0,97	120,00	1,00	116,40
PT carpinterías exteriores	0,55	158,40	1,00	87,12
PT pilares fachadas	0	0	1,00	0
SUBTOTALES				203,52

NOTA: En la suma de las superficies de la envolvente solo se han tenido en cuenta aquellos elementos cuyo coeficiente b (factor de ajuste) es igual a 1.

$$K = \frac{450,04 + 203,52}{270} = 2,42 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Si se analizan los datos obtenidos en el cálculo del K, se puede ver que los puentes térmicos significan un 31% (Figura 29) con respecto al numerador de la expresión anterior.

En este edificio, donde las transmitancias térmicas son altas, el peso que tienen los puentes térmicos en el comportamiento energético del edificio no se puede considerar despreciable. Esta importancia irá en aumento conforme se mejoren los cerramientos de la envolvente térmica sin tenerlos en cuenta en dicha mejora, pues aumentarán la discontinuidad. Por tanto, los puentes térmicos deben de tenerse en una adecuada consideración en las tareas relativas a la mejora de la eficiencia energética de la envolvente del edificio.

Si se analizan todos los elementos que componen la envolvente térmica en este caso y se observa que la importancia que aporta al factor K cada uno de estos elementos e obtiene el gráfico de la Figura 30.

Este análisis aporta, en cada caso, un orden de magnitud de la importancia de cada uno de los elementos de la envolvente, y permite decidir sobre qué elemento o elementos se actuará y el nivel de dicha actuación.

Aun teniendo en cuenta este análisis, no hay que olvidar que existen elementos de la envolvente que no se tienen en cuenta en el cálculo del K, que en este ejemplo serían las medianerías con los edificios colindantes, el forjado de separación con el local sin uso y el forjado de separación con el espacio bajo la cubierta inclinada. Que estos elementos no estén incluidos en la determinación del coeficiente global de transmisión de calor, K, no significa que no estén implicados en el comportamiento energético del edificio. De hecho, la normativa en vigor, considera que las medianerías entre nuestro edificio y las edificaciones colindantes con un mismo uso se pueden considerar cerramientos adiabáticos, sin embargo las demandas energéticas, las pérdidas o ganancias térmicas, que se producen a través de cerramientos en contacto con espacios no habitables (que en este caso serían el forjado de planta baja con el local y el forjado de la última planta que limita con el espacio bajo cubierta inclinada) sí deben de ser consideradas. Por lo tanto estos elementos no pueden ser despreciados dentro de la mejora energética de la envolvente.

Para comprobar esto, se calculará la cantidad de calor o energía, Q (W), que se puede perder o ganar a través de cada uno de los cerramientos envolvente en este caso, a excepción de las medianeras. Para ello, se aplicará la ecuación de transferencia de calor por conducción, Ley de Fourier (ecuación 7), que va a depender de su superficie, de su transmitancia térmica y del gradiente térmico existente entre ambos lados del cerramiento.

$$Q = U \times S \times \Delta T \quad (W) \quad (7)$$

Donde:

Q = cantidad de energía que se transmite a través de un cerramiento(W).

U = transmitancia térmica de ese cerramiento(W/m²K).

S = superficie de ese cerramiento (m²).

ΔT = salto térmico entre los dos lados del cerramiento(K).

Los datos obtenidos se muestran en la Figura 31, donde se puede observar que, a pesar de que el salto térmico entre un espacio *habitable* y un *no habitable* es menor que con el exterior, si su superficie es considerable y su transmitancia es alta, este valor puede ser muy relevante en el edificio que se está analizando. De hecho, aunque las pérdidas o ganancias de

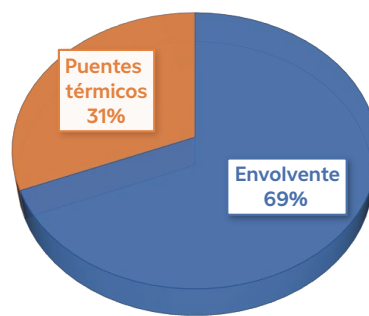


Figura 29. Porcentaje correspondiente a la envolvente y a los puentes térmicos dentro de la definición del valor del Coeficiente Global de Transmisión de Calor (K) del ejemplo.

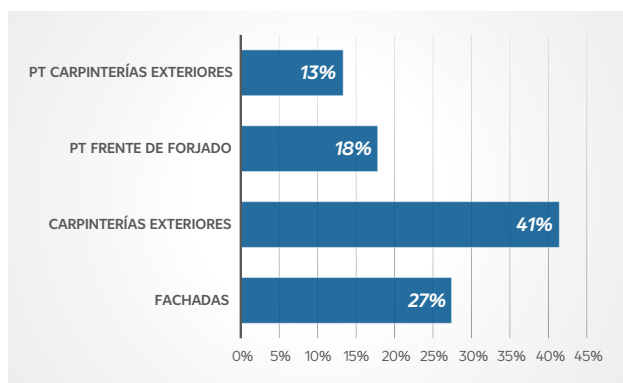


Figura 30. Porcentajes correspondientes para cada uno de los elementos que conforman la envolvente y a los tipos de puentes térmicos dentro del cálculo del Coeficiente Global de Transmisión de Calor "K" del ejemplo.

calor son mayores en los cerramientos en contacto con el exterior, la transferencia de calor del forjado de separación con la cubierta implica la misma importancia que la fachada y la transferencia de calor en el forjado de separación en el local no puede considerarse despreciable.

Transmisión de calor por elementos de la envolvente

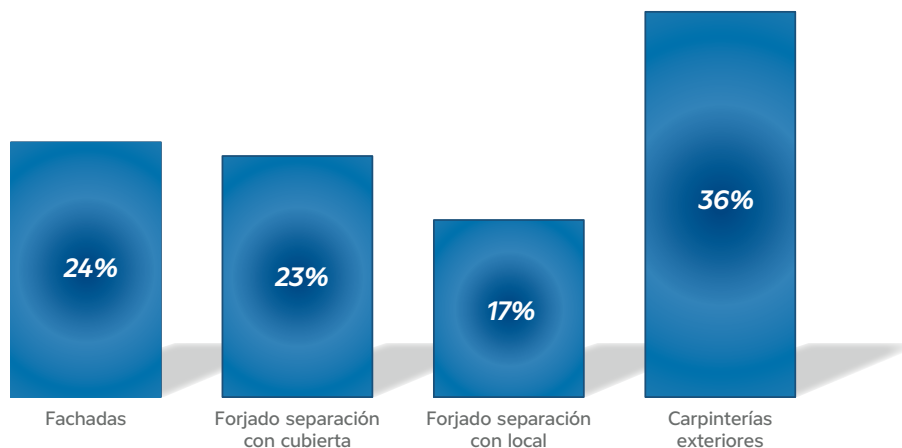


Figura 31. Porcentaje de transmisión de calor a través de los elementos que configuran la envolvente (sin considerar medianerías al ser estos elementos adiabáticos).

Esto hace ver que, aunque algunos elementos no estén implicados dentro del cálculo del coeficiente de transmisión de calor K , es necesario tenerlos en cuenta en el plan de mejoras para rehabilitación energética del edificio.

Otro de los factores que se tiene que tener en cuenta al analizar un edificio existente, es el efecto amortiguador de los espacios *no habitables* que rodean nuestra envolvente (ver documento de apoyo 1 al DB-HE "DA DB-HE/1"), para ello es conveniente que se analicen los factores que determinan el coeficiente " b " (*coeficiente de reducción de temperatura*) en el cálculo de la transmitancia térmica de estos elementos, ya que esos factores, si se adaptan convenientemente, pueden disminuir las pérdidas energéticas a través de estos elementos sin tener que mejorar en demasía su aislamiento térmico.

2.3.2 PUESTA EN CONSIDERACIÓN DE LA INERCIA TÉRMICA DEL EDIFICIO

La definición sencilla del concepto de *inercia térmica de un edificio*, sería la de la capacidad que tiene cualquier edificio de mantener lo más constante posible la temperatura interior, a pesar de los cambios en la temperatura exterior.

Por lo tanto, se ha de tener en cuenta la capacidad que tienen los elementos que se utilizan en la construcción de los edificios para almacenar calor, conservarlo y cederlo de una manera paulatina, permitiendo así un mejor aprovechamiento de los sistemas de climatización (calefacción y refrigeración).

Esta capacidad depende de tres factores:

- Del calor específico de cada material o capacidad de almacenar energía.
- De la masa del material. A mayor masa, más capacidad de almacenar energía.
- De su densidad. A mayor densidad, mayor inercia térmica.

El control de este concepto es muy importante a la hora de determinar el tipo de intervención que se podrá hacer en un elemento de la envolvente térmica, ya que, por ejemplo, si se añade aislamiento a un cerramiento, se podría alterar su inercia desde ciertos puntos de vista, según lo siguiente:

- Si se añade a un cerramiento un aislamiento desde el interior, la inercia térmica respecto al interior se verá reducida, ya que el aislamiento reducirá la cantidad de energía que llegará al cerramiento. Esto se traducirá en una mayor sensación de confort cuando se activen los sistemas de calefacción, ya que se verá reducido el tiempo para llegar a la temperatura de consigna y se reducirá la energía consumida al no tener que calentar los muros exteriores. Por otro lado, si el sistema de calefacción se apaga, la temperatura ambiente tardará muy poco en descender, ya que los cerramientos exteriores no podrán aportar la poca energía que han absorbido. Esta situación es recomendable en zonas climáticas donde el uso de la calefacción sea más intermitente.

- Si se añade a un cerramiento un aislamiento por el exterior, la inercia desde el exterior se verá reducida, pero la inercia desde el interior se verá aumentada, ya que la energía que absorba dicho cerramiento se cederá mayormente hacia el interior y no hacia el exterior. En el caso de una instalación de calefacción, cuando se active por primera vez en la temporada, tardará tiempo en alcanzar la temperatura de consigna (en función de la mayor o menor inercia térmica de los cerramientos), pero cuando se apague el sistema, la energía absorbida por los cerramientos se cederá otra vez al interior de las estancias, manteniendo la temperatura de confort durante más tiempo. Esta situación es recomendable en zonas climáticas con un uso de la calefacción más continuo.
- Las circunstancias anteriores también se pueden aplicar para situaciones de verano (Figura 32). Una elevada inercia térmica en los cerramientos de la envolvente considerada desde el exterior aumenta el tiempo que necesitan las cargas externas para acceder al interior de las viviendas, pudiendo demorarse varias horas, por lo que cuando ya empiece a notarse en el interior, se puede, con la ventilación nocturna, combatir esas cargas y extraerlas de las edificaciones mediante una adecuada renovación del aire interior.

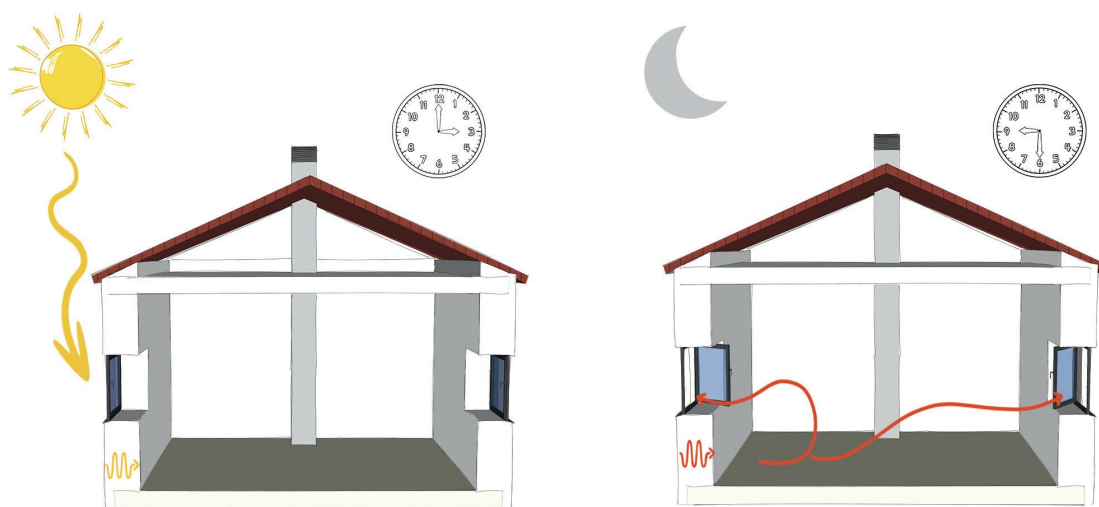


Figura 32. Aprovechamiento de la inercia térmica de los cerramientos.

2.4 DETERMINACIÓN DE LOS PUENTES TÉRMICOS. ANÁLISIS Y POSIBLES SOLUCIONES

Las edificaciones no se delimitan únicamente por una envolvente uniforme ni longitudinal ni transversalmente, como ya se ha definido en apartados anteriores, por tanto, se consideran puentes térmicos 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 de la geometría o de los materiales empleados, lo que conlleva una minoración de la resistencia térmica respecto al resto de los cerramientos.

Como la cantidad de calor y de vapor de agua que atraviesa un material es directamente proporcional a la conductividad térmica (ecuación 7) y a la permeabilidad al vapor de agua de este, si en un paramento, su homogeneidad se ve interrumpida por la intersección de otro elemento de mayor conductividad térmica (un pilar, o una viga metálica, por ejemplo), la cantidad de calor que atraviesa la sección de este material será mayor que la que atraviesa otra sección cualquiera del resto del paramento. A esta zona de mayor densidad de paso de calor se le denomina puente térmico (Figura 33).

Estos puntos por ser más fríos pueden dar lugar a la aparición de manchas de suciedad, fungosidades y condensaciones sobre ellos; sobre todo si los locales no están bien ventilados. Es frecuente observar cómo estas manchas de suciedad o humedad se dibujan sobre las superficies interiores de las paredes del cerramiento, las retículas coincidentes con las juntas de mortero entre bloques, el perfil de un pilar embutido o el entramado de un forjado.

La trascendencia de los puentes térmicos en un edificio con escaso o ningún aislamiento térmico es muy baja, ya que la transmitancia térmica lineal de estos no presenta una diferencia importante respecto a las transmitancias térmicas superficiales del resto de los componentes de la envolvente. Ahora bien, si se rehabilita energéticamente la envolvente de un edificio y no se solucionan la mayoría de los puentes térmicos, el peso de estos se verá aumentado, ya que la diferencia entre el valor

de la transmitancia de los puentes térmicos y del nuevo valor de transmitancia térmica, U , de los cerramientos rehabilitados va a diferenciarse de forma considerable y va a ser origen de discontinuidades que provocan lesiones y pérdidas energética incontroladas.

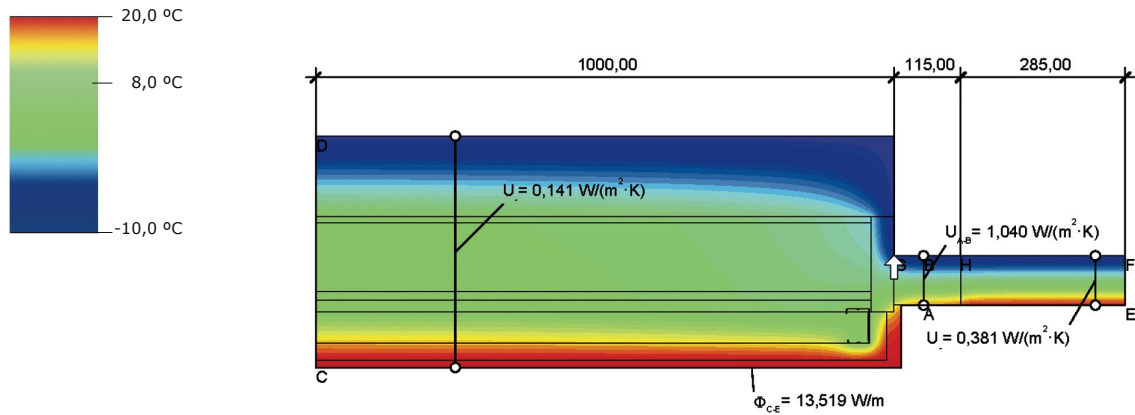


Figura 33. Puente térmico jamba ventana con muro trasdosado de placas de yeso. (Obtenida con el programa Flixo).

Al rehabilitar energéticamente una edificación, se tiene que pensar en la solución de los puentes térmicos ubicados en la misma. Para ello, lo primero que se debe tener en cuenta es la ubicación de estos puentes térmicos y la mejor herramienta para esto es la termografía infrarroja (pág. 46), pues proporciona gradientes térmicos de los cerramientos de la edificación a analizar y permite localizar de forma sencilla las discontinuidades térmicas que corresponden a los puentes térmicos como se puede ver en la Figura 34.

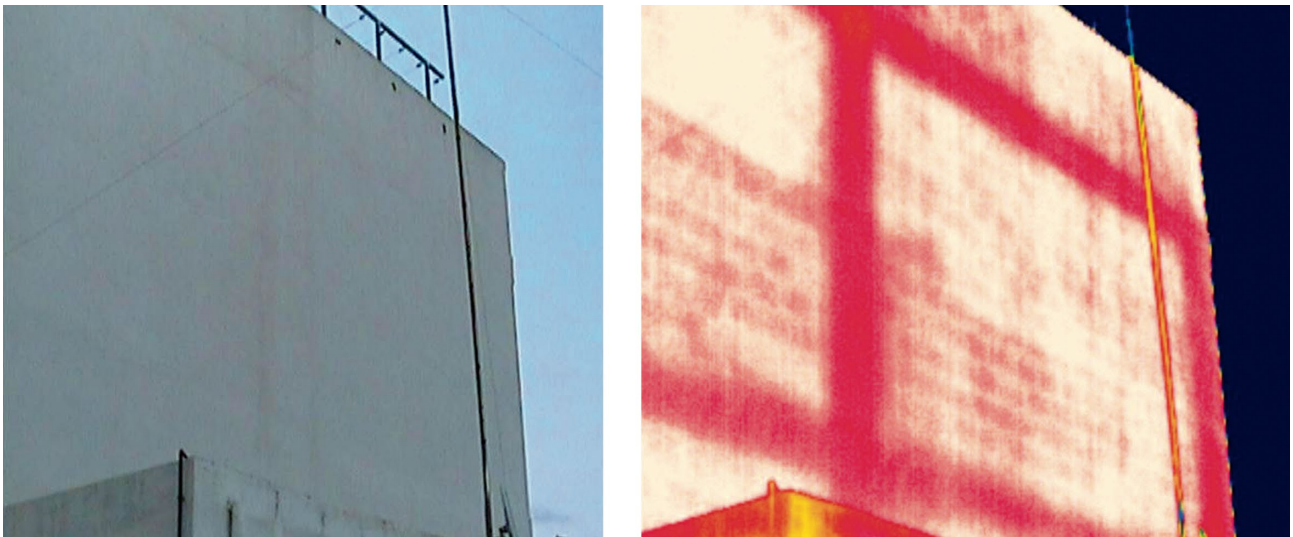


Figura 34. Localización de puentes térmicos mediante termografía.
Izquierda: imagen visual de una medianera. Derecha: imagen térmica de la misma medianera.

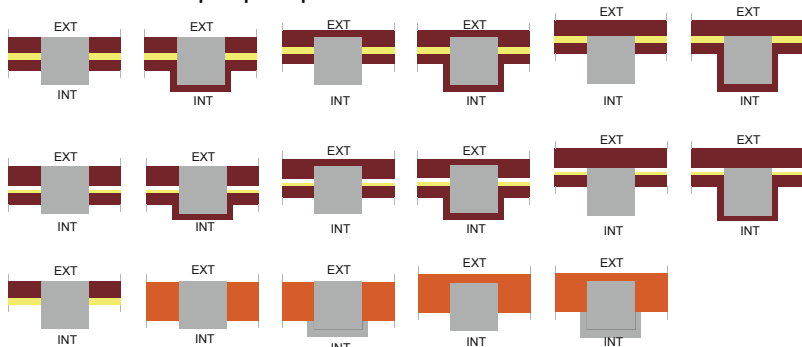
Una vez delimitados los puentes térmicos, se deben definir y para ello se podrán clasificar en tres grandes apartados:

- Tipología, descripción y localización.
- Transmitancia térmica lineal (conforme al DA DB-HE/3 atlas de puentes térmicos, ver Figura 35).
- Longitud de los puentes térmicos.

Grupo 2: Pilares integrados en fachada sin continuidad del aislamiento de fachada

Este grupo recoge los detalles de pilares integrados en fachada en los que se interrumpe la continuidad del aislante del muro o los detalles sin aislamiento térmico.

Aislamiento interrumpido por el pilar



		Ψ_e, Ψ_i [W/mK]			
		Dimensiones pilar [cm x cm]			
		25x25	30x30	35x35	
U_{muro} [W/m ² K]	0,73	1,03	1,20	1,36	
	0,44	1,05	1,24	1,40	
	0,31	1,00	1,20	1,37	
	0,27	0,97	1,17	1,35	
	0,24	0,94	1,15	1,32	

Figura 35. Captura del Atlas de Puentes Térmicos. Extraído del DA DB-HE/3 (Ministerio de Fomento, 2014).

El siguiente paso consiste en evaluar su importancia. Al igual que los cerramientos dependerá de su transmitancia térmica lineal y su longitud total, como ya se ha visto anteriormente.

Generalmente, los puentes térmicos más importantes y numerosos en la edificación residencial existente, son fundamentalmente los frentes de forjado, los pilares en fachada y los encuentros con las carpinterías exteriores.

En la mayoría de los casos, la reducción y/o minimización de los puentes térmicos en edificaciones existentes pasa por aplicar unas soluciones constructivas derivadas de los procedimientos de mejora energética que se aplican a la envolvente donde se enclavan los puentes térmicos que se hayan definido. Esto implicará que, si se está mejorando la envolvente con un sistema SATE, el propio sistema constructivo es el que va a solucionar directamente la mayoría de los puentes térmicos. Sin embargo, si la mejora del aislamiento térmico se realiza por el interior del cerramiento con un trasdosado, la solución del puente térmico de los pilares de fachada basta con prolongar dicho trasdosado en estos elementos. No obstante, en estos casos, la reducción del puente térmico que representa el frente de forjado puede ser más compleja, ya que aislar por la zona superior e inferior del forjado (ver Figura 36 y Figura 37) en la mayoría de las ocasiones no será muy factible.



Figura 36. Utilización de TR-Canto forjado colocado en fase de estructura.
Fuente: Grupo Valero.

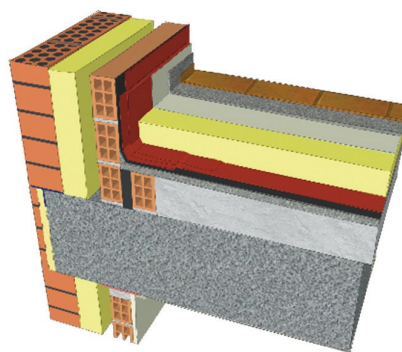


Figura 37. Utilización de aislamientos por exterior en la zona de influencia del puente térmico.

Por otro lado, si los frentes de forjado que se pretenden solventar son los de cubierta, la solución constructiva puede ser mucho más viable, ya que se puede intervenir colocando un mayor aislamiento térmico en la zona de influencia ya sea por encima del falso techo de la vivienda (si existiera) o incluso mejorando el aislamiento térmico de la cubierta en la zona perimetral del frente del forjado. Igual ocurre con los forjados de separación con espacios no habitables como locales o sótanos de garaje, donde si la altura libre lo permite, se puede minimizar este tipo de discontinuidades en el aislamiento térmico actuando por debajo del forjado, añadiendo aislamiento térmico en los techos de la manera más adecuada posible a las circunstancias del espacio no habitable inferior.

Por último, mencionar la reducción de los puentes térmicos de las carpinterías exteriores, que irán en función de las actuaciones en las fachadas, ya sean por el exterior o por el interior. Éstas pasarán por intentar llevar el aislamiento térmico añadido hasta el propio marco de la carpintería, para acabar con un adecuado sellado. Cuando las actuaciones tienen presente el cambio de estas carpinterías, la solución del puente térmico puede ser aún más sencilla, utilizando espumas y/o otros procedimientos constructivos para asegurar la continuidad del aislamiento colocado hasta el marco de la nueva carpintería colocada (Figura 38).



Figura 38. Sellado con espuma de poliuretano en el encuentro de una carpintería con un pilar para asegurar continuidad aislamiento.

2.5 CONSIDERACIONES PARA LA REHABILITACIÓN ENERGÉTICA DE LOS CERRAMIENTOS QUE CONFORMAN LA ENVOLVENTE

Realizando un resumen de todo lo analizado en este capítulo, se propone que, para la mejora del comportamiento energético de la envolvente térmica de las edificaciones existentes, se deberán tener en cuenta diversos condicionantes:

- *La situación del elemento de la envolvente a mejorar y su homogeneidad.* Hay que tener en cuenta si la envolvente está en contacto directamente con el exterior, con el terreno o con otros espacios no habitables, para poder así decidir el tipo de mejora a implementar. También hay que tener en cuenta su homogeneidad y las posibles discontinuidades (por ejemplo, puentes térmicos) que pueda presentar, ya que, si se consigue que el comportamiento de cada una de las partes de la envolvente sea más uniforme, se reducirán las pérdidas energéticas mejorando el confort percibido por el usuario al evitar las descompensaciones en la calidad térmica²⁰.
- *La inercia térmica del cerramiento existente.* Tal y como se ha expuesto anteriormente, se debe aprovechar la inercia térmica de los cerramientos llegando a aumentarla o incluso disminuirla en función de la zona climática.
- *La disposición de los elementos huecos y opacos.* En algunas ocasiones la disposición de los huecos en la envolvente va a definir la permeabilidad de esta al flujo de energía. se debe tener en cuenta, desde el punto de vista de la transmitancia térmica, que la mejor de las ventanas siempre se comportará peor que el peor de los cerramientos. A su vez, hay que considerar que los huecos pueden ser un importante aliado para la obtención de energía proveniente del sol de forma gratuita en los periodos de invierno, y deberán protegerse adecuadamente en el periodo de verano.
- *La relación entre volumen interior y superficie exterior.* Esto determina la denominada "compacidad"²¹ de la edificación. En algunas ocasiones se puede actuar en el edificio existente aumentando su compacidad, es decir, reduciendo la superficie de la envolvente jugando con la distribución de los espacios habitables interiores.

²⁰ Las descompensaciones en la calidad térmica de la envolvente producen que en aquellas partes de ésta con peor comportamiento se produzcan mayores pérdidas energéticas, aumentando las demandas energéticas en las zonas aledañas a estos elementos y por tanto disminuyendo el confort térmico percibido por el usuario.

²¹ La compacidad definida por el CTE, es la relación entre el volumen habitable de un edificio y la superficie de la envolvente térmica que lo define. $C = V/A$. Para un mismo volumen, si el edificio cuenta con una menor área expuesta, las pérdidas a través de la envolvente serán menores, y por tanto se reducirá la demanda energética de este.

- *La disposición de elementos que produzcan sombras.* La disposición de elementos fijos o móviles de sombreado pueden mejorar las ganancias térmicas en invierno y limitar estas mismas en verano. No se trata únicamente a los dispositivos de sombra que afectan a los huecos, sino también a los opacos, como por ejemplo la constitución de fachadas ventiladas y/o cubiertas ventiladas que mejoran el comportamiento energético de los cerramientos de la envolvente sin necesidad de añadir sistemas de aislamiento térmico.
- *El color de la envolvente.* Una de las formas a través de la cual el cerramiento absorbe energía es a través de la transmisión de calor por radiación. Uno de los condicionantes de este tipo de ganancia energética es el color. Elegir un adecuado color para el exterior de la envolvente es muchas veces determinante. Como ejemplo, se pueden poner las construcciones tradicionales que se desarrollan en la costa de todo el arco mediterráneo, donde el color blanco predomina en sus fachadas para disminuir la carga térmica por radiación que absorben los cerramientos en verano.
- *La consideración del entorno de la edificación.* Como ya se ha introducido en otros apartados de este punto, la consideración de la zona climática debe ser primordial, el nivel de aislamiento, la incidencia del soleamiento y las orientaciones de la edificación a rehabilitar deben de tenerse en cuenta a la hora de elegir las soluciones constructivas más idóneas.
- *La filosofía de la "casa pasiva".* Se debe intentar conseguir que la envolvente sea lo más homogénea posible, que el nivel de transmitancia térmica de ésta sea constante. Esto se podría conseguir aplicando espesores de aislamiento uniformes en toda la envolvente y evitando o reduciendo la presencia de elementos distorsionadores como es el caso de los puentes térmicos.

Además de todas estas premisas, es necesario considerar que la rehabilitación energética de la envolvente no solo trata de la adición de aislamiento térmico, en muchas ocasiones esta mejora de la envolvente pasa por la solución de patologías que la deterioran (desde el punto de vista energético).

Una de las principales lesiones que empeoran el comportamiento energético de los cerramientos es la presencia de humedades e infiltraciones que influyen en la transmitancia térmica de estos. En fachadas con aislamientos escasos, la naturaleza de la mayoría de estos es sensible a la presencia de humedad, ya que algunos aislantes al mojarse aumentan sobre manera su conductividad térmica (por ejemplo, las lanas minerales, los aislamientos de origen natural y muchos poliestirenos expandidos).

Otros aislamientos con menor capacidad de absorción de agua, en presencia de ésta ven acelerado su envejecimiento y por lo tanto también mermada su capacidad aislante. La solución de estas infiltraciones y/o humedades pasarán por una adecuada impermeabilización de los elementos de la envolvente o la colocación de barreras o sistemas que impidan las humedades por capilaridad en aquellos elementos en contacto con el terreno.

Otra lesión presente en muchos elementos de la envolvente (fundamentalmente en las carpinterías exteriores) es la falta de estanqueidad al aire, que provoca una infiltración incontrolada que aumenta las cargas térmicas por ventilación. En algunas ocasiones esta falta de estanqueidad llega a provocar corrientes de aire molestas que alteran la percepción de confort del usuario. Se deberán realizar los adecuados sellados en los encuentros entre las fábricas y las carpinterías y también en los propios elementos de los cerramientos, como son el paso de instalaciones, los encuentros entre cerramientos o elementos de la estructura.

3.1 MATERIALES AISLANTES. TIPOLOGÍAS, CARACTERÍSTICAS Y USOS

Los materiales de aislamiento térmico empleados en la edificación y en la rehabilitación energética, deben reunir el mayor número de propiedades específicas de las reseñadas a continuación:

- Baja conductividad térmica.
- Baja absorción de humedad: La humedad reduce de un modo apreciable las propiedades aislantes de la mayoría de los materiales.
- Adecuada resistencia estructural.
- Resistencia al fuego.
- Bajo costo y fácil aplicación.

Estas propiedades nos ayudan a elegir el tipo de aislamiento térmico a utilizar en cada una de las aplicaciones de la obra de rehabilitación que se puede proyectar. Pero, a su vez, hay que tener en cuenta que los materiales de aislamiento térmico ya vienen definidos en su fabricación (Figura 39) en base a los siguientes parámetros:

- *Conductividad térmica (λ)*: propiedad física que mide la cantidad de energía que fluye por unidad de tiempo y superficie. En muchas ocasiones los fabricantes nos dan este dato de forma indirecta en base al espesor del material, proporcionando entonces el dato de *resistencia térmica R*, siendo este valor la relación entre el *espesor (e)* y la *conductividad térmica (λ)*; $R = e / \lambda$.
- *Factor de resistencia a la difusión del vapor de agua (μ)*: propiedad física que mide la resistencia que ofrece el aislamiento al paso del vapor de agua, midiendo así su capacidad de actuar como barrera de vapor. Con una resistencia muy baja el material se podría mojar y perder parte de su capacidad de aislamiento térmico.
- *Densidad (d)*: cantidad de masa de material que existe por unidad de volumen.
- *Calor específico (C_p)*: capacidad de un material para acumular energía por unidad de masa.

Certificaciones Voluntarias	Aplicación (es)	Tipo de producto aislante	Trazabilidad (fábrica, fecha, turno, etc.)	
Poliestireno Expandido				
 Aislamiento Térmico	Cubierta invertida		CÓDIGO DE BARRAS O CÓDIGO INTERNO DE CONTROL	
	d (espesor) 80 mm	Dimensiones 1.000 mm x 500 mm		
	Bordes Lisos	Planchas 6 uds.		Superficie 3,00 m ²
	Conductividad térmica declarada $\lambda_D = 0,033 \text{ W/mK}$			
 Marcado CE obligatorio	UN E EN 13163 (Nombre comercial) $R_D = 2,40 \text{ m}^2 \text{K/W}$ $d_R = 80 \text{ mm}$		(Fabricante) (Dirección) (los últimos dígitos del año)	
	EPS En-13163-T1-L1-W1-S1-P3-DS(N)5-DS(70,90)1-BS250-CS(10)200-DLT(1)5-WL(T)2-WD(V)5-CC(2/1,5/25)50 Código de designación			

Figura 39. Ejemplo de etiquetado de un aislamiento de EPS extraído de la "Guía de Soluciones de Aislamiento con Poliestireno Expandido (EPS) del IDAE, página 25.

Cuando se está diseñando una mejora energética en un elemento de la envolvente, uno de los parámetros que se tendrá que considerar y calcular, será el espesor del aislamiento térmico. En la mayoría de los casos, lo deseable es que este espesor sea el adecuado para que la transmitancia térmica del elemento mejore lo suficiente como para conseguir los valores recomendados en el anexo E del DB-HE (Figura 24), para así asegurar un idóneo comportamiento del elemento.

No siempre se podrá dotar a algunos elementos de la envolvente con el espesor de aislamiento adecuado y en estos casos se puede recurrir fundamentalmente a dos opciones:

- a. Por un lado, se puede utilizar aislamientos térmicos con conductividades térmicas muy bajas (normalmente por debajo de $0,032 \text{ W/mK}$) para intentar conseguir un adecuado nivel de aislamiento térmico con un espesor lo más reducido posible.
- b. Por otro lado, si este espesor no es posible añadirlo, la opción siempre pasará por intentar obtener un valor de U lo más bajo posible con los condicionantes que se tengan, buscando siempre mejorar la situación inicial.

Asimismo, en una intervención de aislamiento en fachada, es fundamental que los componentes del sistema no contribuyan a la propagación del fuego ante un incendio, por lo que los materiales que se empleen deberán tener un comportamiento pasivo para limitar al máximo la velocidad de propagación por fachada. Además, las cámaras ventiladas se deben interrumpir en continuidad con los forjados resistentes al fuego que separen sectores de incendio. En vivienda residencial, la superficie construida de todo sector de incendio no debe exceder de 2500 m^2 . La inclusión de barreras E30 es un procedimiento válido para la interrupción.

En este sentido, el Real Decreto 732/2019, de 20 de diciembre, por el que se modifica el Código Técnico de la Edificación, en vigor desde el 28 de junio de 2020 para edificios nuevos y para los elementos en los que se intervenga en rehabilitaciones de fachadas o medianeras por el exterior de los edificios, modifica los requisitos de la clase de reacción al fuego que se pide a los sistemas constructivos de fachada y a los sistemas de aislamiento de las cámaras ventiladas. Así el Documento Básico DB-SI 2 Capítulo 1. Medianeras y Fachadas, indica nuevos requisitos para la clase de reacción al fuego para fachadas SATE y los sistemas de aislamiento con cámaras ventiladas. Estos requisitos de reacción al fuego de los materiales proceden de la UNE-EN 13501-1:2019. Clasificación en función del comportamiento frente al fuego de los productos de construcción y elementos para la edificación.

A continuación, se realiza una pequeña definición de los aislantes térmicos más utilizados en construcción y rehabilitación energética.

3.1.1 FIBRA DE VIDRIO

Consiste en un conjunto de fibras obtenidas mediante el estirado de composiciones especiales de vidrio de sosa suave. Al entrelazarse sus fibras mantienen el aire de su interior inmóvil, aportándoles características de aislantes térmicos. Su estructura flexible, además, también le aporta importantes características de aislamiento acústico.

Este material se produce en forma de lana suelta y, como el aglomerante usado tiene avidez por el agua, debe tenerse cuidado de evitar todo contacto con la humedad.

Los aislantes de fibra de vidrio son ligeros, fáciles de cortar, incombustibles e inatacables por los agentes exteriores.

Existen multitud de variantes de este material, dotándolo de capas de barrera de vapor, tratamientos que reducen su absorción de humedad, utilización de ligantes naturales, e incluso tratamientos que aumentan su densidad y su resistencia al aplastamiento.

Las conductividades térmicas más usuales en el mercado van de $\lambda = 0,034$ a $0,038 \text{ W/mK}$, aunque se pueden encontrar paneles con prestaciones mejoradas con $\lambda = 0,032 \text{ W/mK}$.

3.1.2 LANA MINERAL

Este material consiste en un conjunto de fibras entrelazadas y aglomeradas con resinas sintéticas, fuertemente hidrofugantes.

Aunque sus prestaciones son similares a las de la fibra de vidrio, su comportamiento es mejor en la protección contra el fuego, dado su alto punto de fusión, empleándose como fieltro en rollos, para suelos flotantes, cámaras de techos y tanques de agua; y como planchas para aislamiento en paredes, fundamentalmente acústico.

Al igual que ocurre con la fibra de vidrio, sus propiedades se pueden mejorar y/o variar en función de los tratamientos o accesorios que se le doten, haciendo que puedan ser resistentes a la humedad, con barreras de vapor o mejorando su resistencia mecánica.

Las conductividades térmicas más usuales en el mercado van de $\lambda = 0,034$ a $0,038$ W/mK (ANDIMAT, 2008a).

3.1.3 ARCILLA EXPANDIDA

Es un material cerámico que se presenta en forma de gránulos esféricos formados por una estructura celular interna clinkalizada y una corteza dura y resistente, de unos 10 mm de diámetro.

Su naturaleza cerámica la hace imputrescible e inatacable por los agentes atmosféricos. No hay posibilidades de ataque a los impermeabilizantes o a otros materiales de construcción. Es un material idóneo para la protección contra el fuego.

Sus principales utilizaciones son en relleno de cámaras de aire, con el material a granel, y en la fabricación de hormigones ligeros refractarios. No debe olvidarse en este último caso la arcilla expandida produce un hormigón poroso, y por tanto debe sellarse la superficie con un mortero fluido.

La arcilla expandida también posee una importante resistencia a la compresión e incluso puede llegar a utilizarse en hormigones estructurales.

Las conductividades térmicas más usuales en el mercado van de $\lambda = 0,08$ a $0,120$ W/mK.

3.1.4 VIDRIO CELULAR

Se presenta generalmente en placas, y se obtiene por fusión de polvo vítreo, con el que se consigue un material duro y espumoso.

Se fabrica generalmente en placas cuadradas o rectangulares con diversos espesores.

Dada su peculiar composición no se producen condensaciones de agua en su interior, constituyendo una barrera de vapor permanente. Al ser completamente inorgánico (sin adición de resinas), no arde ni produce gases tóxicos, siendo totalmente impermeable.

Las placas de vidrio celular se reciben directamente, mediante mortero de yeso o emulsión asfáltica, no debiéndose emplear morteros ricos en cemento, ya que su retracción y consiguiente fisuración puede llegar a romper las placas.

Se guarnece directamente, con pasta de yeso amasada con menor cantidad de agua de la normal, al no absorber el material. El espesor de guarnecido será de 1 – 2 cm en verticales y de 0,5 – 1 cm en horizontales. Se puede cortar con sierra, lo que multiplica la posibilidad de colocación.

Las conductividades térmicas más usuales en el mercado van de $\lambda = 0,036$ a $0,048$ W/mK.

3.1.5 POLIURETANO EXPANDIDO

El poliuretano es una espuma rígida de celdas cerradas que se puede utilizar aplicada "in situ" a base de su proyección o inyección y en planchas rígidas. También se encuentra en combinación con otros materiales formando productos tipo sándwich.

La más importante utilización es la aplicación mediante proyección "in situ" sobre las superficies, dando lugar a un aislamiento continuo, sin juntas, por lo que resulta muy interesante. La proyección mecánica del material hace posible la obtención de rendimientos muy altos que pueden hacer aceptables los costes.

El material puede proyectarse sobre superficies mojadas, lo que no impide su secado y además presenta una baja absorción de la humedad (entre el 4,1 y el 2,4 % de su volumen) una vez seco (en base a la densidad del producto, a mayor densidad presenta un menor porcentaje de absorción).

Existen aditivos o tratamientos superficiales (normalmente pinturas elastoméricas) que pueden llegar a impermeabilizar totalmente el producto, haciéndolo idóneo en algunas aplicaciones de impermeabilización de cubiertas existentes.

Ya sea en proyección o en planchas, hay que tener en cuenta que el poliuretano sin tratar ni proteger no resiste a los rayos UV, que producen un envejecimiento prematuro y la descomposición del producto.

El gran inconveniente es que no disponen de una elevada resistencia al fuego y puede resultar propagadores de la llama, además, su combustión desprende cianhídrico letal, por lo que es imprescindible protegerlo eficazmente contra el fuego para poder ser utilizado, en algunas circunstancias como el relleno de cámaras.

Las conductividades térmicas más usuales en el mercado van de $\lambda = 0,022$ a $0,028$ W/mK. Hay que tener en cuenta que el poliuretano envejecido puede aumentar su conductividad térmica entre $0,04$ a $0,06$ W/mK en 25 años (ANDIMAT, 2008d).

3.1.6 POLIESTIRENOS

Existen en el mercado dos tipos de poliestireno: el expandido y el extruido, ambos muy utilizados como material de aislamiento.

El poliestireno expandido es un producto espumado mientras que el poliestireno extruido es una espuma rígida resultante de la extrusión del material base.

3.1.6.1 Poliestireno expandido, EPS

Es uno de los aislantes de alto vacío más económicos.

Este material tiene una conductividad térmica muy baja debido a que los poros del material están completamente cerrados y rellenos de aire. También presenta una excelente rigidez y una buena relación resistencia/peso, con una penetración de agua muy baja, existiendo tipologías adecuadas para su utilización en cubiertas invertidas debido a su muy baja absorción de agua (semejante al extruido). En función de su densidad, puede ser utilizado en situaciones donde se requieran resistencias a compresión compatibles con el uso de tránsito peatonal e incluso pesado.

El poliestireno expandido puede ser pintado con pintura de emulsión plástica. Las pinturas al aceite tienden a ablandar y atacar el material.

Existen aditivos que lo dotan también de una importante capacidad como aislamiento acústico.

Se presenta comercialmente en planchas de diferentes espesores, machihembradas o preparadas para unión "a media madera", lo que posibilita su colocación evitando puentes térmicos. También pueden tener terminaciones mecanizadas en sus caras para facilitar la utilización en algunas situaciones.

Los adhesivos a utilizar no deben contener demasiado disolvente, pues éste tiende a atacar el plástico; es mejor usar un adhesivo tipo látex, acetato de polivinilo, resinas epoxídicas endurecidas en frío, etc.

Sus principales desventajas es que no es utilizable por encima de los 70 °C, y que, al arder, desprende estireno letal, por lo que es imprescindible su perfecta protección contra el fuego.

Las conductividades térmicas más usuales en el mercado van de $\lambda = 0,029$ a $0,036$ W/mK (ANDIMAT, 2008b).

3.1.6.2 Poliestireno extruido, XPS

La naturaleza de este material es similar a la del anterior, y su diferencia estriba en el método de fabricación, lo que le confiere su principal cualidad, la de ser un aislante de estructura homogénea de célula cerrada y por tanto de una muy baja absorción de agua.

Esta cualidad, que es a su vez la diferencia fundamental con la espuma de poliestireno expandido, le convierte en un material con absorción de agua despreciable, siendo incluso una excelente barrera de vapor. Su resistencia a la compresión puede llegar a 3 kg/cm².

Se presenta comercialmente en planchas de diferentes espesores, machihembradas o preparadas para unión "a media madera", lo que posibilita su colocación evitando puentes térmicos.

Es necesario proteger las planchas contra las radiaciones directas del sol, en un acopio prolongado o en su situación definitiva en obra (en el caso de cubiertas), a fin de evitar la degradación de su superficie.

En muchos casos los fabricantes presentan sus planchas con un acabado de superficie rugosa, lo que permite una perfecta adherencia de los adhesivos minerales (cementos cola), siendo de igual manera, excelente soporte para materiales de acabado (yeso, estuco, etc.). El problema con los adhesivos es el mismo que con el expandido (ANDIMAT, 2008c).

3.1.7 AISLANTES REFLEXIVOS

Este tipo de aislamiento presenta un principio de funcionamiento distinto a los aislamientos anteriormente mencionados. De hecho, incluso se rigen por normativas distintas²² al tener un principio de funcionamiento diferente (UNE-EN ISO 23993:2012).

Mientras que los aislantes denominados “tradicionales” se basan en la resistencia térmica respecto a la transmisión por conducción que presenta un determinado material, los aislantes reflexivos se basan en la resistencia que ofrecen a la transmisión de calor por radiación y necesitan actuar en combinación con una o dos cámaras de aire en donde se pueda producir la reflexión de esta radiación.

La mayoría de estos aislantes reflexivos están compuestos por diversas capas que conforman espesores menores de 10 mm en total de forma que sus capas exteriores siempre están formadas por elementos aluminizados de alta emisividad térmica (muy reflexivos).

La caracterización de estos elementos aporta dos valores de resistencia térmica (nunca emisividad). Por un lado, la denominada *resistencia térmica intrínseca* que es la que posee el propio material sin depender de cámaras de aire, y por tanto es independiente del modo de colocación. Por otro lado, la *resistencia térmica total* considerando la cámara o cámaras de aire que tenga a uno o los dos lados. Esta resistencia varía en función del espesor y características de ventilación de dichas cámaras.

Es importante que, para una correcta colocación de estos elementos, las cámaras de aire deben de ser homogéneas, por lo que en su instalación se deberán utilizar rastreles de madera u otros medios para asegurar su continuidad.

La resistencia intrínseca del material suele ser muy baja (0,11-0,80 m²K/W) en función de las capas que compongan el elemento, lo que más o menos equivale a la resistencia que ofrece un tabicón de ladrillo hueco doble de gran formato²³, por lo que si se coloca directamente embutido entre los elementos de obra sin ningún tipo de cámara de aire en alguna de sus caras el aislamiento térmico que aporta es prácticamente despreciable. Hay que tener en cuenta que la conductividad térmica intrínseca se debe a las capas interiores que lleven este tipo de aislamientos.

Con dos cámaras de aire de 2 cm cada una más el aislamiento reflexivo, con un espesor total del conjunto de entre 4,5 y 5,0 cm, la resistencia que pueden proporcionar sería de unos 1,50 a 1,60 m²K/W que podría equivaler a un espesor de entre 4,8 a 5,51 cm de aislamiento tradicional con una conductividad $\lambda = 0,032$ W/mK.

Hay que incidir que el empotramiento de este tipo de aislamientos térmicos en soluciones constructivas sin cámaras de aire apenas mejora su comportamiento, por lo tanto, no se deberían utilizar en la solución de puentes térmicos.

3.1.8 AISLANTES NATURALES

Con las nuevas tendencias de utilización de productos más sostenibles y ecológicos están surgiendo en el mercado numerosos tipos de aislamientos de origen natural. Los más frecuentes son los derivados del corcho, la lana de oveja y otros de origen vegetal como el algodón, el cáñamo, el lino o la celulosa.

Para no hacer muy extenso este apartado, a continuación se realizará una descripción general de algunos de estos materiales.

3.1.8.1 El algodón y otros aislantes de origen textil

Normalmente se utiliza como restos reciclados de tejidos de algodón en forma de manta o panel semirrígido a colocar en el interior de los cerramientos de la envolvente. Se suele tratar para darle propiedades ignífugas, estando su conductividad térmica entre 0,038 a 0,032 W/mK en función de su densidad.

También presenta un buen comportamiento acústico, semejante a las lanas de roca, debido a su composición y naturaleza.

²² Los aislamientos térmicos genéricos para edificación e instalaciones industriales se rigen por la norma UNE-EN ISO 23993:2012 *Productos de aislamiento térmico para equipos en edificación e instalaciones industriales. Determinación de los valores de diseño de la conductividad térmica* mientras que los aislantes reflexivos se regulan por la UNE-EN 16012:2013+A1:2015 *Aislamiento térmico en la edificación. Productos aislantes reflexivos. Determinación de las prestaciones térmicas declaradas*.

²³ Según el catálogo de elementos constructivos del CTE, un tabicón de ladrillo hueco doble gran formato posee una resistencia térmica de 0,33 m²K/W

3.1.8.2 Aislantes de origen vegetal

Aunque el algodón también es de origen vegetal, en este apartado se quieren mostrar otras fibras vegetales como el lino, el cáñamo, la celulosa e incluso las algas.

Casi todos estos materiales presentan conductividades térmicas entre 0,038 a 0,042 W/mK. Además, suelen ser higroscópicas de forma que son capaces de absorber agua, aunque algunas de estas fibras, pueden llegar a absorber hasta un 15% de su peso en agua sin perder su capacidad de aislamiento térmico.

La mayoría de estas fibras necesitan tratamientos para mejorar su comportamiento ante el fuego, aunque algunas de ellas, como las algas e incluso las raíces de avena (colchón radicular) presentan muy buen comportamiento ante el fuego.

3.1.8.3 El corcho

Aunque este tipo de aislamiento también tiene origen vegetal, por su uso y relevancia merece ser descrito de forma independiente.

Este tipo de material aislante tiene un uso muy arraigado tanto en la industria como en el sector de la construcción, utilizándose por sus buenas propiedades aislantes, siendo reciclable y reutilizable.

Se presenta en diversos formatos, desde granulado (virutas) para el relleno de cavidades, hasta en forma de paneles de corcho prensado o incluso proyectado para el revestimiento de superficies.

La versatilidad de este material hace que se puede utilizar como revestimientos, como elementos principales de aislamiento (con espesores mayores), como componentes de morteros, proyectado (en capas más finas) e incluso insuflado para el relleno de cámaras.

Su conductividad térmica puede oscilar entre los 0,040 a 0,050 W/mK.

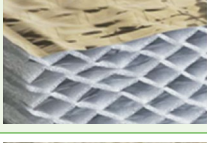
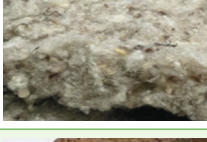
3.1.8.4 Lana de oveja

Producto de origen animal, también destaca por su sostenibilidad y carácter ecológico, presentándose también en forma de mantas o planchas. Esta última tipología se puede tratar con productos para mejorar su comportamiento al fuego. De cualquier forma, se debe tratar para proteger al material contra ataques de insectos.

Su conductividad térmica es de alrededor de 0,038 W/mK en forma de manta, a 0,045 W/mK en forma de fieltro.

La Tabla 6 muestra, a modo de resumen, cada uno de los aislantes definidos en este capítulo con el tipo de formato con el que se fabrica y características principales como conductividad térmica, absorción al agua, comportamiento frente al fuego y la resistencia a la difusión de vapor.

Tabla 6. Comparativa de algunos parámetros que caracterizan los distintos tipos de aislamientos térmicos más utilizados en edificación.

Material		Formato	Conductividad térmica (λ) W/mK	Absorción al agua	Comportamiento frente el fuego	Resistencia a la difusión de vapor μ
	Fibra de vidrio	Suelto (insuflado) Manta Plancha	0,034 a 0,038	< 1kg/m ²	A1 (ignífugo)	De 1 a 3
	Lana de roca	Suelto (insuflado) Manta Plancha	0,032 a 0,040	< 1kg/m ²	A1 (ignífugo)	De 1 a 3
	Arcilla expandida	Granulado	0,080 a 0,120	< 38% masa seca	A1 (ignífugo)	2
	Vidrio celular	Placas	0,036 a 0,048	0	A1 (ignífugo)	∞
	Poliuretano expandido	Proyectado Planchas	0,022 a 0,028	4,1 y el 2,4% de su volumen Impermeable si es de celda cerrada	entre F y B-s1d0	Entre 50 a 110
	Poliestireno expandido	Granulado Planchas	0,029 a 0,036	< 5% a < 1%	E	De 20 a 40
	Poliestireno extruido	Planchas	0,029 y 0,036 (aumenta con el espesor)	< 0,7 %	E	> 150
	Aislantes reflexivos	Mantas	Alrededor de 0,032 con dos cámaras 2 cm	Impermeable	Entre F y >B S1 d0 (según composición)	> 1000
	Aislantes de algodón	Manta o panel semirrígido	0,038 a 0,032	Hasta un 24%	F	De 1 a 3
	Corcho	Granulado (proyección o relleno) Planchas	0,040 a 0,050	< 3%	E	5-10
	Lana de oveja	Manta Fieltros	0,035 a 0,045	< 50% peso	E	De 1 a 2

3.2 LA POSICIÓN DEL AISLAMIENTO TÉRMICO EN LAS SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS

En general, los aislantes térmicos reducen las pérdidas de calor independientemente de la posición que ocupen dentro del muro de cerramiento, pero esta posición determinará la capacidad acumuladora de calor de este, es decir su inercia, factor importante a la hora de considerar el tipo de intervención a realizar en la envolvente y los sistemas de instalación de climatización idóneos.

En general la posición del aislamiento térmico en las intervenciones de rehabilitación energética de la envolvente térmica puede ser desde el exterior, desde el interior o rellenando las posibles cámaras de aire que se pueda encontrar en los cerramientos que configuran dicha envolvente.

A continuación, se describen las ventajas e inconvenientes de las tres disposiciones básicas mencionadas.

3.2.1 AISLAMIENTO EXTERIOR

La principal ventaja que posee este sistema radica en la protección que otorga al cerramiento, no sólo mecánicamente y contra los agentes agresivos y atmosféricos, sino incluso contra las dilataciones. De otra parte, contribuye a evitar los puentes térmicos estructurales.

Entre los inconvenientes más destacables, está la necesidad de que el aislante deba contar con un acabado para dotarlo de un adecuado aspecto estético, gran resistencia al choque, a la polución, y a la lluvia (resistente a los agentes atmosféricos).

También es fundamental cumplir con los requisitos del DB SI del CTE (Real Decreto 732/2019, de 20 de diciembre, por el que se modifica el Código Técnico de la Edificación) en el que se separan los conceptos de resistencia al fuego de la fachada y la resistencia al fuego de los aislantes térmicos. De un lado, la clase de reacción al fuego de los sistemas constructivos de fachada, en función de la altura total de la fachada será:

- D-s3,d0 en fachadas de altura hasta 10 m;
- C-s3,d0 en fachadas de altura hasta 18 m;
- B-s3,d0 en fachadas de altura superior a 18 m.

donde según la UNE-EN 13501

- A2. Productos con poder calorífico muy limitado, que en un incendio plenamente desarrollado no aportan, de modo significativo, una carga al fuego ni contribuyen a su desarrollo.
- B, C, D y E. Productos combustibles con un potencial energético creciente.
- s3, Materiales de elevada y rápida opacidad.
- d0, Materiales que no se producen gotas inflamadas.

Dicha clasificación debe considerar la condición de uso final del sistema constructivo incluyendo aquellos materiales que constituyan capas contenidas en el interior de la solución de fachada y que no estén protegidas por una capa que sea EI30 como mínimo.

Adicionalmente, los sistemas de aislamiento situados en el interior de cámaras ventiladas, deben tener una clasificación mínima de reacción al fuego en función de la altura total de fachada:

- D-s3,d0 en fachadas de altura hasta 10 m;
- B-s3,d0 en fachadas de altura hasta 28 m;
- A2-s3,d0 en fachadas de altura superior a 28 m.

También debe limitarse el desarrollo vertical de las cámaras ventiladas de fachada en continuidad con los forjados resistentes al fuego que separan sectores de incendio. La inclusión de barreras EI30 se puede considerar un procedimiento válido para limitar dicho desarrollo vertical.

Finalmente, la inercia térmica del edificio será grande, necesitando por ello un largo periodo de precalentamiento. Este inconveniente se transforma en ventaja cuando se dispone de un sistema de calefacción de operación continua, al aprovecharse la energía térmica del muro como regulador de las variaciones de temperatura del aire ambiente interno. Por el contrario, tardará mucho en enfriarse el edificio una vez cese el foco de calor interior.

3.2.2 AISLAMIENTO INTERMEDIO

El aislante en este caso está protegido y no necesita una alta resistencia a la intemperie.

En edificación nueva, si existiese riesgo de condensaciones se deberá prever la colocación de elementos de barrera de vapor o aislamientos de naturaleza adecuada, para que no se produzcan condensaciones intersticiales o filtraciones de agua que puedan mermar o dañar la resistencia térmica del aislamiento.

La inercia térmica en este caso será menor que en el anterior, por lo que el conjunto del edificio se calentará o enfriará más rápidamente. Además, con este tipo de rehabilitación no se mejoran los puentes térmicos, a no ser que se traten de forma independiente, lo cual implica un inconveniente con respecto a la rehabilitación por el exterior.

3.2.3 AISLAMIENTO INTERIOR

Una de las características de la utilización de aislamientos térmicos por el interior de la envolvente es que se la dota de una mínima inercia térmica, que hace que el edificio se caliente muy rápidamente, entrando enseguida la calefacción en régimen, e inversamente, el espacio interior se enfriará muy rápidamente cuando se pare la calefacción.

Este tipo de soluciones colabora en el acondicionamiento acústico del local, y da mayor sensación de confort, con un tacto de los paramentos más agradable, al estar más calientes, evitando el denominado "fenómeno de la pared fría"²⁴.

Esta disposición funciona aceptablemente en casos de sistemas de acondicionamiento intermitente de baja inercia (radiadores de pequeña capacidad de agua, sistemas eléctricos y de gas, por ejemplo).

Es una solución óptima en edificios que no posean aislamiento térmico o tengan un nivel de aislamiento térmico deficiente. Aunque la mejora de los puentes térmicos en este tipo de rehabilitación no se vea tan favorecida como en el caso de la rehabilitación por el exterior.

Por otro lado, ante casos de riesgo de condensaciones, surge la necesidad de instalación de una barrera de vapor, dada la potencial formación de agua de condensación en el interior del cerramiento, la cual está relacionada con la penetración de la humedad a través del muro. La colocación de esta barrera de vapor es necesaria cuando el espesor del cerramiento no sea lo suficientemente grande, aunque es aconsejable en todo caso.

3.3 REHABILITACIÓN DE SISTEMAS DE ENVOLVENTE TÉRMICA POR EL EXTERIOR

El sistema más extendido y utilizado para la rehabilitación de la envolvente térmica por el exterior es el SATE (Sistema de Aislamiento Térmico por el Exterior). Estas soluciones son fundamentalmente utilizadas en la rehabilitación de fachadas y otros elementos verticales de la envolvente térmica con el exterior, por lo que se comenzará describiendo la rehabilitación de la fachada por el exterior (González-Falcón, 2007).

Estos sistemas utilizados tanto en rehabilitación como en obra nueva únicamente necesitan un soporte adecuado y que tenga una correcta capacidad portante. Además de esto, el soporte para un sistema SATE debe de presentar una adecuada planeidad, problema que se ve acrecentado en edificación existente, donde una falta de planeidad del soporte puede conllevar la ejecución de capas de mortero para conseguir las o la limitación de la utilización de sistemas de aislamiento con lanas minerales que puedan absorber estas faltas de planeidad ya que son materiales que pueden estar sometidos a distintos niveles de compresión antes de la colocación de los revestimientos de terminación de los sistemas SATE (IDAE, 2012)

Los sistemas SATE están compuestos básicamente por 5 elementos, fijaciones, material aislante, capa de mortero base, capa de acabado (normalmente morteros) y los elementos accesorios.

Una de las principales ventajas de este tipo de intervenciones es la protección que se ofrece a los cerramientos sobre los que se coloca, en este caso las fachadas, ya que van a dejar de estar sometidos a las inclemencias meteorológicas y se protegen de las variaciones de temperatura, con lo que las tensiones de dilatación y contracción a las que estaban expuestas se reducen enormemente. Esto nos lleva a que este tipo de intervenciones no solo mejora el comportamiento energético de la edificación, sino que además también nos ayuda a solucionar los posibles procesos patológicos a los que estuvieran expuestos los elementos que se rehabilitan.

²⁴ El fenómeno de la pared fría se produce cuando existe una diferencia entre la temperatura interior de un local y las superficies exteriores del mismo de más de 4 °C. Ante estos casos el riesgo de condensaciones superficiales aumenta y al igual que la sensación de discomfort, al presentarse un importante gradiente térmico entre el centro de esa estancia y las paredes de esta.

Otro de los beneficios que se obtienen es la solución sencilla de los puentes térmicos, ya que, al pasar por delante de los forjados y los pilares, estos puentes térmicos prácticamente desaparecen u obtienen resultados muy bajos (Figura 40). Por otro lado, puentes térmicos como son los perímetros de los huecos, también se pueden ver reducidos, ya que prácticamente, y en función del tipo de terminación del SATE que se disponga, se puede llevar el aislamiento hasta los marcos de las carpinterías, por lo que dichos puentes térmicos de esos puntos se verían minimizados. Si, además, en la intervención de rehabilitación, se sustituyen las carpinterías existentes por otras de PVC o de aluminio con rotura de puente térmico, las transmitancias térmicas del conjunto resultante serían óptimas.

La otra técnica de mejora del comportamiento energético de estos cerramientos de la envolvente por el exterior es la ejecución de fachadas ventiladas, que independientemente de la colocación de aislamientos térmicos, mejoran el comportamiento energético de la edificación, aunque esto no exime de la colocación de un adecuado aislamiento térmico. Estas disposiciones mejoran el comportamiento energético de los elementos donde se ubican (Figura 41) ya que los protegen de la radiación solar, por consiguiente, en situaciones de verano, contribuyen a reducir el aporte energético al cerramiento al generar una cámara de aire ventilada que va a mejorar la disipación de esa energía. En situaciones de invierno, la cámara de aire que se coloca está a una mayor temperatura que el propio exterior de la edificación, por lo que el salto térmico entre el interior y el exterior se reduce, disminuyendo así la cantidad de energía que se fuga del interior de la edificación.



Figura 40. Detalle de una solución con SATE.
Fuente: (González Juan, 2024)

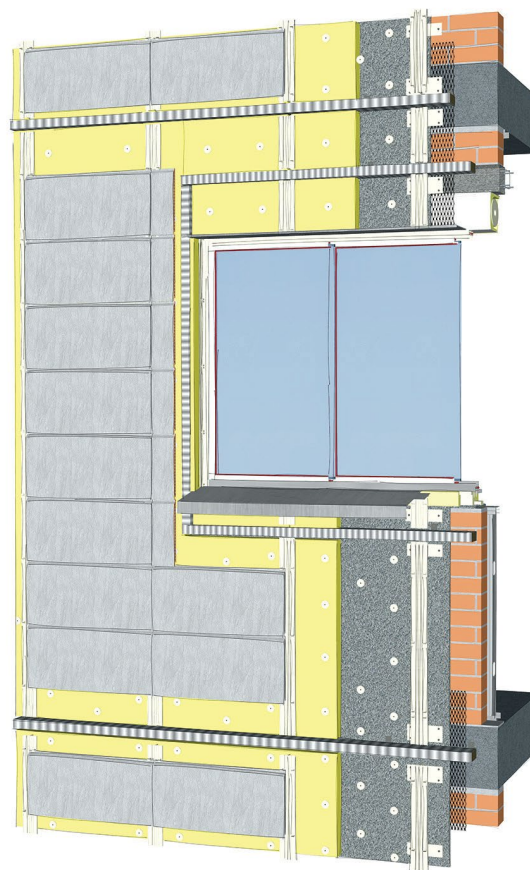


Figura 41. Detalle de una solución con fachada ventilada.
Fuente: (González Juan, 2024).

Ambos tipos de sistemas, al mejorar el aislamiento por el exterior de la envolvente, la alineación de las fachadas cambia, ocupando una superficie en base al espesor del aislamiento colocado, por lo que se deberá tener en cuenta las normas urbanísticas del municipio para su disposición. El recrecio de fachadas en planta baja puede suponer una importante invasión de las alineaciones oficiales de fachadas, por lo que su posible colocación puede ser incompatible con el planeamiento municipal. Sin embargo, normalmente a partir de la planta primera, una alteración de la alineación de fachada suele ser más fácil que se permita desde el punto de vista del cumplimiento de las ordenanzas municipales. De hecho, ya en muchos ayuntamientos hay ordenanzas específicas que regulan este tipo de intervenciones.



Figura 42. Tipos y consideraciones de la rehabilitación de fachadas por el exterior.

Hay tener en cuenta que el aislamiento térmico por el exterior no se ciñe únicamente a la ejecución en fachadas. También se puede mejorar el comportamiento térmico de elementos horizontales de la envolvente térmica, como cubiertas y forjados en contacto con el aire exterior.

Con respecto a la cubierta, la colocación de elementos aislantes por el exterior también puede llevar parejo una mejora de su impermeabilización y/o solución de las patologías que presente (como falta de pendientes, deterioro de los pavimentos exteriores, etc.). La elección de la solución a aplicar en cubierta va a depender entre otras cosas de los siguientes factores:

- Lesiones presentes en las cubiertas.
- Tipo de terminación de la cubierta (transitables o no transitables).
- Tipo de uso.
- Pendientes (cubiertas planas o inclinadas).

En la Figura 46, se expone un pequeño esquema orientativo de las múltiples opciones de rehabilitación energética de cubiertas en función del tipo de cubierta, de su configuración y de la presencia de lesiones.

En las cubiertas con lesiones, planas o inclinadas, esta situación puede ser un argumento para efectuar una intervención más profunda (Figura 43) y que pueda llegar a obtener resultados mejores desde el punto de vista del comportamiento energético del elemento.

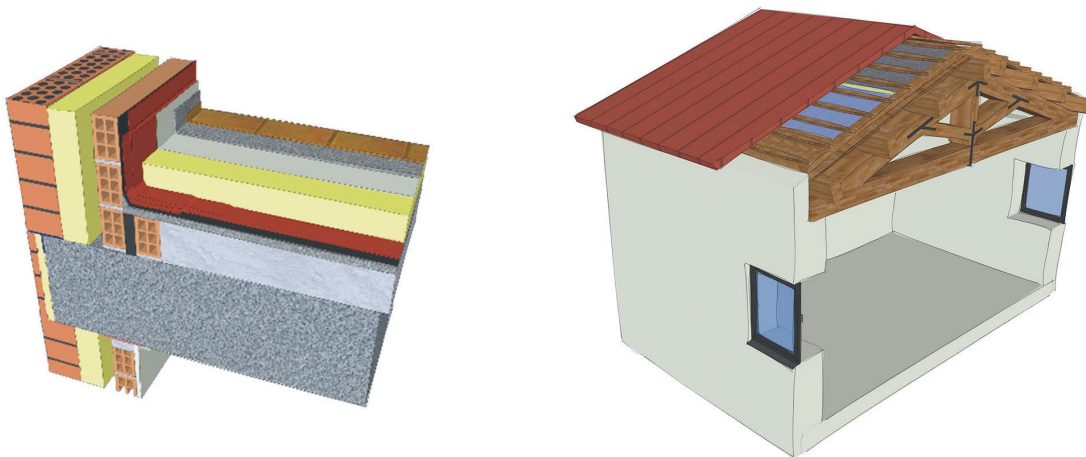


Figura 43. Rehabilitación energética de cubiertas con lesiones. Izquierda: Cubierta plana con mejora de la impermeabilización. Derecha: Cubierta inclinada con retirada del material de cobertura.

Cuando la cubierta a rehabilitar presenta problemas de impermeabilización, una de las opciones con la que se cuenta es con la ejecución de un nuevo sistema de cobertura que cuente, entre otras, con una nueva capa impermeabilizante y la capa de aislamiento térmico necesaria para cumplir con los condicionantes propuestos.

El orden de estas capas definirá el tipo de cubierta y las características del aislamiento térmico a utilizar. Las tipologías de cubiertas en función de las capas las se pueden agrupar fundamentalmente en dos, por un lado, las cubiertas tradicionales y por otro las invertidas.

- a. En caso de las denominadas "cubiertas calientes" o "tradicionales", la capa de aislamiento térmico va por debajo del sistema de impermeabilización, por lo que este no se va a mojar y por lo tanto no tiene que presentar una baja absorción al agua.
- b. En el caso de las denominadas "cubiertas invertidas", el sistema de aislamiento térmico se coloca por encima de la capa impermeable protegiendo a esta de las dilataciones y contracciones provocadas por elevadas o bajas temperaturas. En este caso, el aislamiento térmico sí se va a mojar y por lo tanto es necesario que éste tenga una baja absorción al agua.

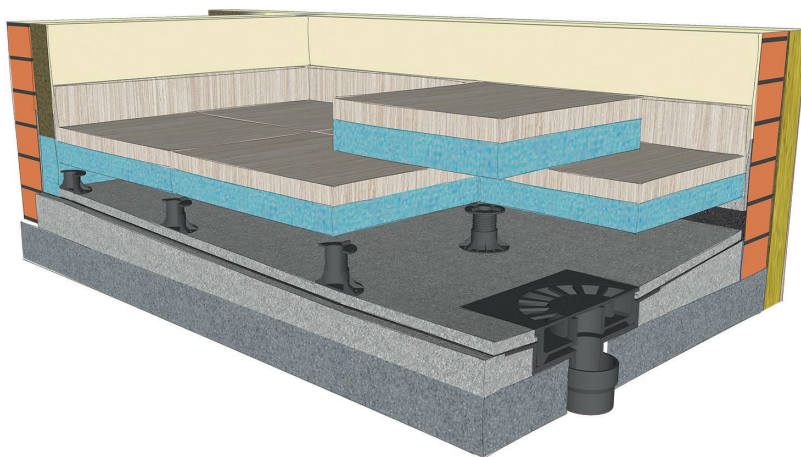


Figura 44. Rehabilitación energética de una cubierta, con sistema de cubierta ventilada.

En cualquier caso, si la cubierta es transitable, y en función del tipo de tránsito que se tenga, se necesitará que el aislamiento térmico posea una adecuada resistencia a la compresión, mientras que, en sistemas no transitables, en función del tipo de protección que se disponga en la cubierta, el requisito de resistencia a la compresión del aislamiento térmico puede ser menor.

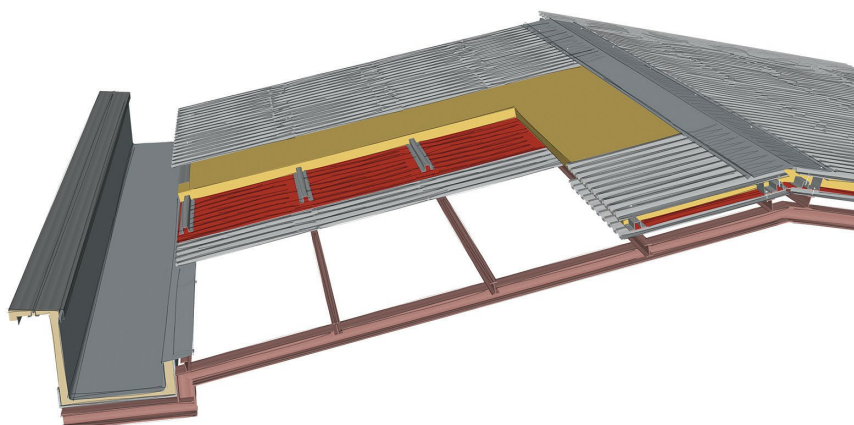


Figura 45. Rehabilitación energética de cubierta inclinada sin retirada del material de cobertura.

La mejora de forjados en contacto con el exterior en su parte inferior, básicamente se puede lograr con las mismas soluciones planteadas para las fachadas, utilizando sistemas tipo SATE, o simplemente, si la altura libre lo permite, anclando mecánica o químicamente el aislamiento térmico y posteriormente protegiendo la zona mediante la colocación de un falso techo apto para estar en contacto con el ambiente exterior.

Por último, otra de las metodologías para mejorar el comportamiento térmico por el exterior de la envolvente es la utilización de revestimiento o proyecciones con material aislante, como por ejemplo el corcho. Es posible encontrar revestimientos de capa fina con partículas de corcho con propiedades impermeabilizantes, permeables al vapor de agua y que además aportan un ligero aislamiento²⁵ térmico. El espesor de estos revestimientos suele estar entre 1,5 a 2,0 mm, pudiendo llegar en función del producto, hasta grosores de 10 mm.

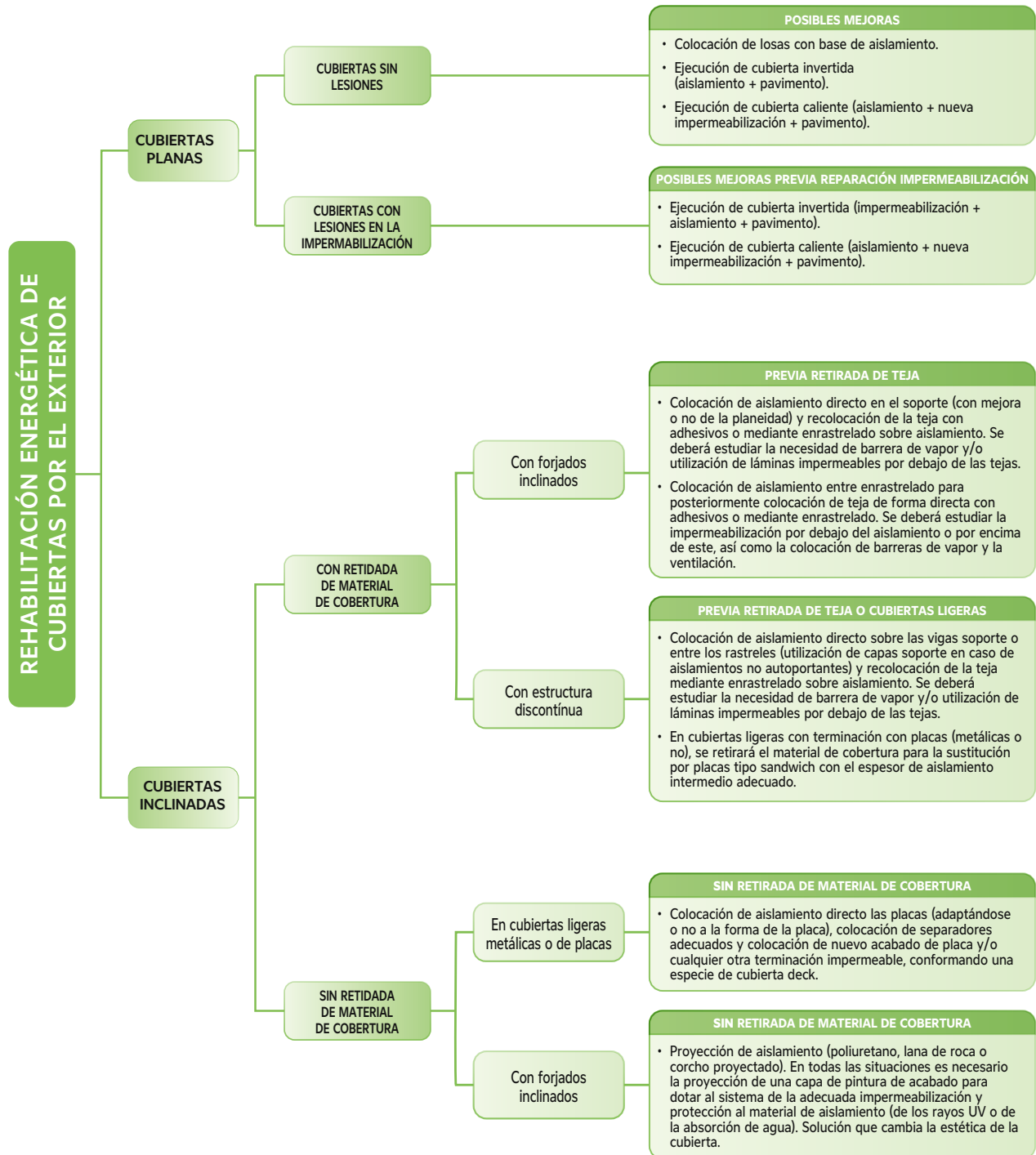


Figura 46. Esquema de soluciones de rehabilitación energética de cubiertas por el exterior.

²⁵ No hay que dejar de tener en cuenta que la resistencia térmica de un material depende de su espesor y de su conductividad térmica ($R = e/\lambda$), por lo que, al colocar capas finas, la resistencia térmica que se aporta al conjunto no es excesiva. Por otro lado, en función del color y tipo de acabado sí que se puede aportar mejora del comportamiento reflexivo del elemento sobre el que se coloca.

3.4 REHABILITACIÓN DE SISTEMAS DE ENVOLVENTE TÉRMICA MEDIANTE EL RELLENADO DE CÁMARAS

En aquellos cerramientos de la envolvente térmica donde existan cámaras de aire ventiladas o no, se puede mejorar su comportamiento energético rellenando estas con productos aislantes térmicos. Para un adecuado análisis de este tipo de soluciones constructivas, es necesario conocer el espesor de la cámara y sus características, lo que hace indispensable, en muchas ocasiones, la realización de catas y/o inspecciones con boroscopios (pág. 46) para poder así determinar sus particularidades.

Antes de rellenar una cámara de aire se debe de evaluar su funcionamiento, es decir, el efecto que tiene dicha cámara de aire en el comportamiento higrotérmico del elemento a estudiar. Si es una cámara de aire ventilada que desempeña la misión de evacuar la humedad del aire para evitar condensaciones, antes de rellenar dicha cámara, se deberá subsanar su desaparición y evitar que la humedad ambiental pueda llegar a la misma y que se produzcan condensaciones intersticiales que incluso podrían llegar a dañar o reducir la capacidad aislante del elemento que se insufla. En ese caso, se deberán colocar barreras de vapor (normalmente en la cara caliente del aislante) para evitar el paso del vapor de agua hacia el interior del elemento.

Cuando se rellena una cámara de aire ventilada, que se había colocado para reducir las cargas térmicas por radiación (cubiertas o fachadas ventiladas), la ventilación de esta se debería anular o eliminar, para evitar que entren elementos extraños en la misma y además para evitar que se pueda perder el material con los que se rellenan dichas cámaras, al realizar esto también se perderá el efecto de la ventilación, pero si el elemento a mejorar no estaba dotado de un espesor de aislamiento adecuado o directamente no existía aislamiento térmico, el rellenado de estas cámaras puede ver mejorado el comportamiento térmico del cerramiento por encima de su funcionamiento previo.

Con respecto a cámaras de aire no ventiladas, su función fundamental ha sido siempre la de contribuir al comportamiento energético del elemento (fundamentalmente fachadas), y se debe tener las mismas consideraciones que para una cámara ventilada, pero, si tiene otra función en el comportamiento higrotérmico del cerramiento, esta se deberá suplir de forma adecuada. Pues, en algunas ocasiones, si no se impide adecuadamente la entrada de humedad a la cámara rellenada con aislamiento, en función del tipo de aislante²⁶ que se utilice, pueden aparecer hongos o mohos que van a causar lesiones en los aislamientos, en los cerramientos e incluso disminuir las condiciones de habitabilidad de la vivienda que se ha mejorado.

Los sistemas basados en el rellenado de cámaras son adecuados en situaciones donde el aumento del espesor del cerramiento a mejorar es inviable por la razón que sea. En estas circunstancias, y si no se puede añadir o sustituir capas del elemento, la única opción que resta es la de rellenar aquellas partes del cerramiento que están vacías (re llenas de aire). Existen dos posibles tipologías en función del material y la forma de rellenar las cámaras:

- Rellenado por inyección de elementos expansivos (p. ej. Espumas de poliuretano).
- Rellenado por insuflado de elementos encapsulados o con fibras (p. ej. Esferas de EPS con grafito o con lana de roca granulada).

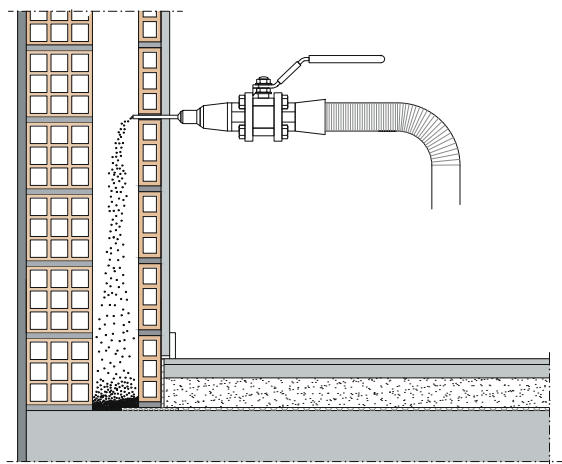


Figura 47. Rellenado de cámaras por inyección o por insuflación.

El rellenado de las cámaras se puede realizar tanto por el exterior como por el interior, aunque suele ser más fácil por el interior (Figura 47), ya que no se necesitan medios auxiliares importantes (al no existir importantes desniveles) y es más fácil la reparación de la estética del cerramiento sobre el que se está actuando.

Es muy importante antes de la realización de este tipo de rehabilitaciones, que se definan y controlen las perforaciones que se van a realizar para el rellenado de las cámaras, así como localizar las posibles pérdidas de estanqueidad de las cámaras que pueden provocar la pérdida incontrolada del material que se utilice para el rellenado de estas.

Se puede utilizar ensayos de puerta soplante (Blower Door test) para localizar las zonas que no presenten una adecuada estanqueidad en la envolvente térmica para poder sellarlas

²⁶ Hay que tener en cuenta que se pueden utilizar tipos de aislamiento térmico imputrescible e inalterable con la presencia de ligeros niveles de humedad. En estos casos las posibles lesiones que se pueden producir se pueden minimizar llegando incluso a no producirse.

adecuadamente e impedir la pérdida del aislamiento térmico que se va a utilizar para el relleno de las cámaras. Comprobar que no se encuentran conectadas con otros conductos y/o huecos que pueden hacer que se pierda el aislamiento con el tiempo. Especial mención es, la unión de cerramientos de fachadas con falsos techos, cajones de persianas y otros elementos semejantes, que hay que tener muy controlados si no se desea que el aislamiento acabe relleno de estos espacios (Plataforma PEP, 2022).

Otro aspecto a tener en cuenta es controlar las instalaciones que van empotradas en los elementos a mejorar, sobre todo las instalaciones eléctricas, ya que, si no se efectúa el relleno de la cámara de forma adecuada, es posible que el aislamiento interfiera con la instalación eléctrica pudiendo llegar a provocar cortocircuitos e incluso en situaciones incontroladas, incendios.

Con este tipo de intervenciones en los cerramientos, existe un importante riesgo de que se creen zonas sin relleno, por lo que una revisión con cámaras termográficas puede ser útil para localizar dichos espacios para posteriormente poder realizar nuevas perforaciones que ayuden a colmar toda la cámara. En otras ocasiones, los espesores de la cámara pueden que no sean constantes, circunstancia que se puede detectar y cuantificar con la ayuda de las ya mencionadas cámaras termográficas.

Es importante indicar que los espesores de las cámaras que encuentran en la mayoría de la edificación existente son bastante reducidos (del orden de 2 a 4 cm) por lo que la mejora de la transmitancia térmica no suele ser muy relevante, aunque esta consideración puede variar en función de la zona climática donde se encuentre la edificación. En zonas climáticas con inviernos cálidos, la mejora energética conseguida relleno de cámaras de pequeño espesor es muy bien percibida por los usuarios que nota un importante aumento de su confort térmico.

En el relleno de cámaras, en la mayoría de las ocasiones no se reducen los puentes térmicos, salvo que se actúe de otra forma en ellos, ya que la mayoría de estos puentes térmicos incluso interrumpen las cámaras de aire y por tanto también interrumpirán la capa de aislamiento que se quiere conseguir, siendo este uno de sus grandes inconvenientes.

Principalmente, estos sistemas se pueden utilizar como un complemento a una mejora tanto por el exterior o por el interior, donde por la razón que sea, no se puede llegar a suplementar un espesor de aislamiento adecuado o porque se quiere cambiar el funcionamiento de la cámara de aire para que se adapte mejor a las nuevas circunstancias de la mejora prevista en el cerramiento donde se implante (Figura 48).

Los materiales más usuales en el relleno de cámaras son los siguientes:

- Las **espumas de poliuretano expansivas**, que se deberán inyectar desde la parte inferior de la cámara hacia la superior, a través de taladros al tresbolillo con una separación máxima entre ellos de 50 cm (en función del espesor de la cámara; en cámaras de aire con muy poco espesor, el distanciamiento entre taladros debe ser inferior). Se inyecta en estado líquido y una vez dentro de la cámara se expande formando una espuma rígida de celda abierta, por lo que el procedimiento se debe de realizar lentamente para asegurar que llega a todos los rincones de la cámara. Normalmente los productos utilizados suelen ser hidrófugos, por lo que además también pueden aportar cierta impermeabilización al elemento a tratar. Deben de asegurarse su adecuada protección contra el fuego para poder ser utilizados.
- Los **granulados de lana mineral** son derivados de las lanas minerales o lanas de roca en forma de granulado fibroso de mayor o menor densidad en función del espesor de la cámara de aire a relleno. La instalación puede ser a través de máquina neumática de insuflado o de soplado. Los taladros o perforaciones para el relleno de la cámara se deberán realizar al tresbolillo, siendo los diámetros de estos de entre 25 a 35 mm usualmente. Este tipo de materiales se puede utilizar también para relleno de espacios de mayores dimensiones, como falsos techos, espacios no habitables bajo cubiertas inclinadas u otros elementos semejantes. Tienen muy buen comportamiento ante el fuego, pero en presencia de altos niveles de humedad pierden mucha de su capacidad aislante.
- **Perlas de poliestireno expandido (EPS)** es el material base de los aislantes de poliestireno expandido, que junto con un material aglutinante se puede inyectar en las cámaras de aire para conseguir un aislamiento continuo ya que el adhesivo acaba fijando el producto a las paredes de la cámara y entre las propias perlas. También se puede insuflar en seco. El diámetro de las perlas suele estar entre los 4 a 6 mm por lo que pueden penetrar en espacios bastante pequeños, aunque lo ideal es que la cavidad a relleno no sea inferior a los 20 mm. Algunos fabricantes aditivan estos elementos con grafito para mejorar su comportamiento acústico. El material base suele ser resistente a la humedad.
- **Inyectado de celulosa**, que utiliza como material base papel con aditivos ignífugos como las sales de boro. La base de papel puede ser material reciclado o virgen. Tienen una conductividad térmica mayor que los anteriores y se adaptan más difícilmente a espacios con espesores reducidos.

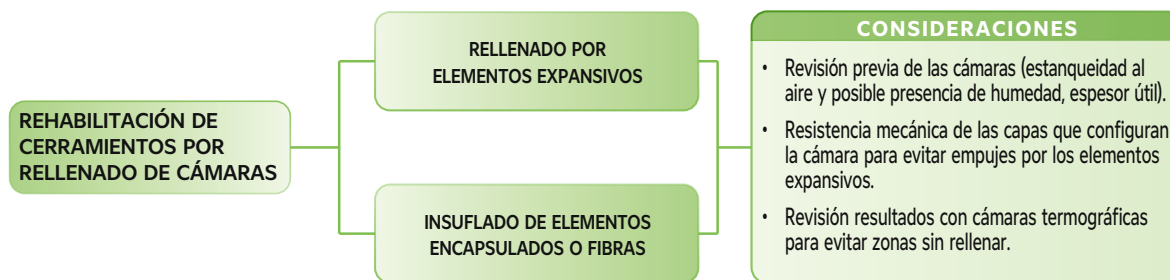


Figura 48. Consideraciones de la rehabilitación de cerramientos por relleno de cámaras de aire.

3.5 REHABILITACIÓN DE SISTEMAS DE ENVOLVENTE TÉRMICA POR EL INTERIOR

Cuando se habla de un sistema de aislamiento térmico por el interior, lo más usual es pensar considerar la opción de un sistema de trasdosado. Existen numerosos sistemas de trasdosado en el mercado, aunque el más frecuente es el conformado por paneles de cartón yeso generando un espacio donde se puede ubicar el aislamiento térmico necesario para la mejora proyectada del elemento.

Los dos sistemas más usuales son los siguientes:

- **Trasdoso directo**, donde el aislamiento térmico se debe anclar mecánicamente o con adhesivos (cementosos o no) a la superficie interior del elemento de la envolvente (normalmente fachadas) y posteriormente se adhiere a este aislamiento la capa de terminación de cartón yeso (Figura 49). La mayoría de los fabricantes, disponen de productos donde el conjunto aislante + capa de terminación de cartón yeso ya está unido químicamente en fábrica y solo falta su colocación en obra. Es necesario asegurar una adecuada planeidad del soporte para asegurar un correcto acabado del sistema. En los sistemas prefabricados los espesores del aislamiento dependerán de la variedad que ofrezca el fabricante.
- **Trasdoso con subestructura**, que consiste en la colocación de una subestructura que aporta un adecuado soporte a la capa de terminación de cartón yeso (Figura 49). El aislamiento se puede colocar entre los montantes que configuran la subestructura e incluso entre la subestructura y la cara interior del cerramiento, en función del espesor total que se busque de aislamiento térmico. En este último caso, se pueden colocar dos tipos de aislamiento, uno de naturaleza más rígida (como plantas de poliestireno) entre la superficie del cerramiento y la estructura y otro de naturaleza más flexible (lanas de roca o fibras de vidrio) entre los elementos que la configuran.

La disposición de este tipo de soluciones resta superficie interior o altura, por lo que debe tenerse muy en cuenta dichas circunstancias. Pero con esta tipología de mejora energética, se puede solucionar fácilmente algunos puentes térmicos, como los debidos a la presencia de huecos en los elementos de la envolvente o la existencia de pilares en fachadas. En este último tipo de puente térmico, tal y como ya se ha mencionado en el párrafo anterior, hay que tener en cuenta la reducción del espacio interior ya que puede afectar a pasillos o huecos de escaleras entre otros, donde una reducción del hueco de paso puede ser inviable. Hay que considerar que el espesor del trasdosado interior puede ser variable en algunos elementos como los pilares, donde se puede ir a espesores de aislamiento más pequeños con tal de reducir lo máximo posible el puente térmico existente.

Existen otras soluciones de aislamiento por el interior, donde el propio aislante térmico se puede terminar con un revestimiento de capa fina (pinturas u otros tratamientos similares), por lo que la colocación de paneles de cartón yeso como terminación no es necesaria y por lo tanto se pueden o aumentar espesores de los aislamientos o reducir la superficie ocupada de la vivienda por el interior. Algunos de esos materiales que se pueden revestir con capas finas pueden ser aislamientos de origen natural, como el corcho que puede ser pintado e incluso hay fabricantes que poseen soluciones tipo SATE, pero para el interior de las viviendas.

La mejora por el interior de la envolvente térmica también se puede llevar a otros elementos de esta que no son verticales, como son techos y suelos. El elemento más fácil de mejorar suele ser el techo de las edificaciones, ya que, si la altura libre es la adecuada o existe un falso techo, se puede colocar una capa de aislamiento térmico por debajo del forjado que configura la parte de la envolvente térmica de la edificación (cubierta exterior, forjado de separación con otro espacio no habitable o incluso cubierta enterrada). Este aislamiento suele colocarse ocupando parte del falso techo en caso de existir, demoliendo este elemento previamente para posteriormente volver a colocar un falso techo ya sea fijo o desmontable.

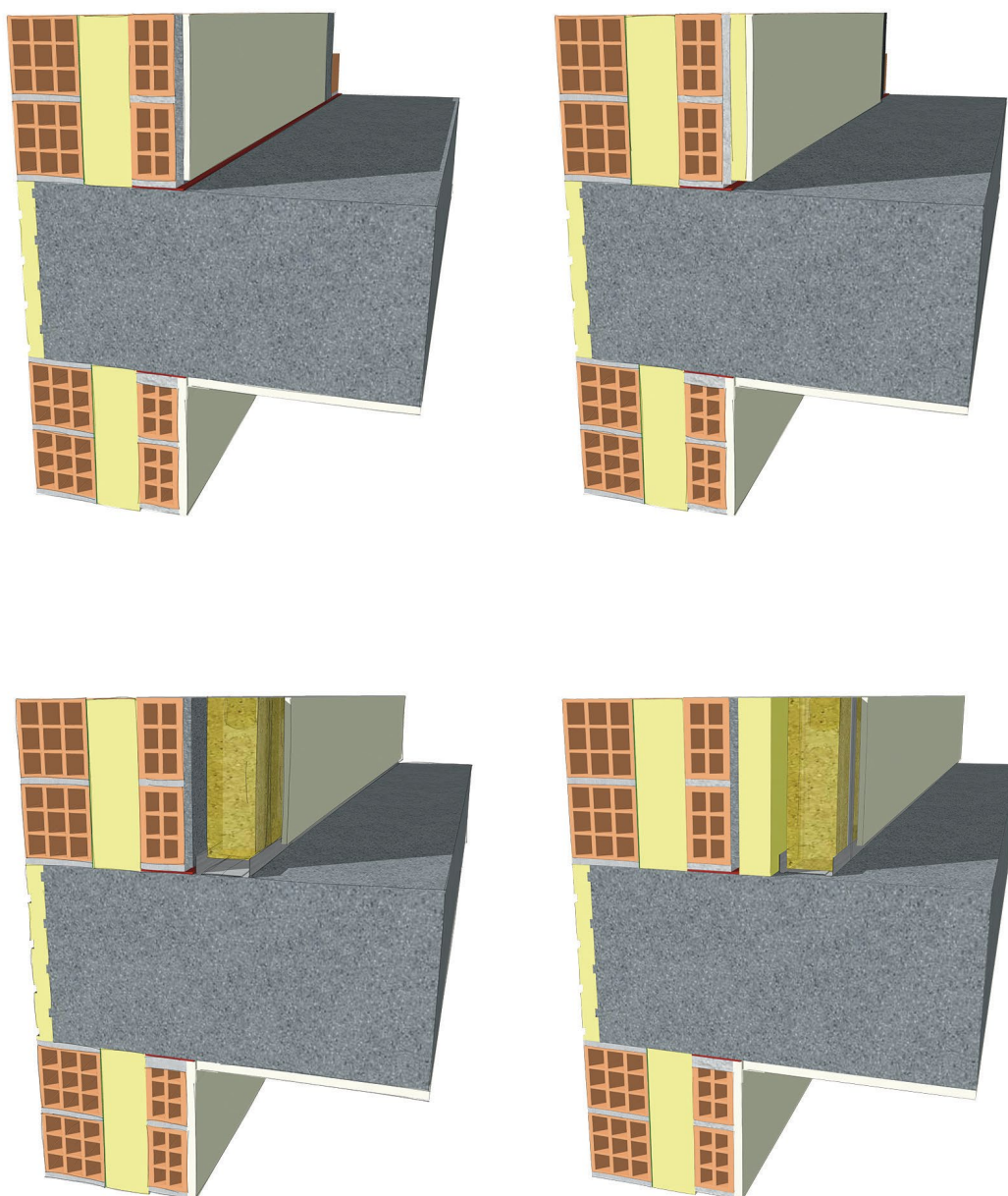


Figura 49. Detalle de izquierda a derecha: estado inicial; trasdosado directo; trasdosado con subestructura y aislamiento; y trasdosado con subestructura separada de la pared y dos tipos de aislamiento.

Los aislamientos térmicos de esta parte de la envolvente pueden estar anclados al forjado o pegados al mismo o incluso estar apoyados en los elementos que configuran el propio falso techo (escayolas o elementos de cartón yeso continuos o desmontables). El caso más favorable consiste en anclar o pegar el aislamiento al propio forjado superior, ya que se consigue una homogeneidad mayor y se asegura una correcta continuidad del aislamiento y la ausencia de puentes térmicos puntuales.

Esta situación es posible siempre y cuando el nivel de presencia de instalaciones en esos falsos techos lo permita. En los casos de que exista una elevada cantidad de instalaciones que no permita el anclaje al forjado superior del aislamiento, este se podrá colocar sobre el falso techo, apoyado en el mismo, o también se puede recurrir a la proyección de aislamiento térmico que incluso cubra total o parcialmente las instalaciones que se anclan al mismo.

El riesgo de incendio es la principal exigencia para la determinación de la naturaleza del aislamiento. En situaciones de riesgo bajo, como es el interior de las viviendas, los aislamientos térmicos a utilizar pueden ser tanto plásticos como de naturaleza mineral, siendo estos últimos más recomendables cuando el riesgo de incendio sea mayor o el aislamiento térmico vaya a quedarse visto.

Con respecto a los suelos que configuran la envolvente térmica, su mejora energética es más difícil en función del tipo de suelo que se trate. Cuando sean suelos sobre el terreno, la única opción posible sería el eliminar parte de las capas que configuran el pavimento para la colocación de una capa de aislamiento compacta y la posterior ejecución sobre la misma de una nueva capa de pavimento interior. Para ello también es necesario que la altura libre de las plantas bajas sea la adecuada, y hay que tener en cuenta que habría que levantar también los huecos de paso e incluso algunas ventanas, si fuera necesario. En cualquier caso, el aislamiento a utilizar debería poseer una adecuada densidad para tener una resistencia a la compresión $\geq 100 \text{ Pa}$ ²⁷.

En el caso de suelos sobre espacios no habitables, y siempre que el espacio no habitable tenga una altura adecuada para su uso, se pueden colocar aislamientos térmicos por su parte inferior teniendo en cuenta las mismas consideraciones establecidas para la mejora de los techos. Es de importancia que si el espacio inferior tiene un riesgo de incendio elevado se utilicen aislamientos de origen mineral por su mejor comportamiento en estas situaciones.

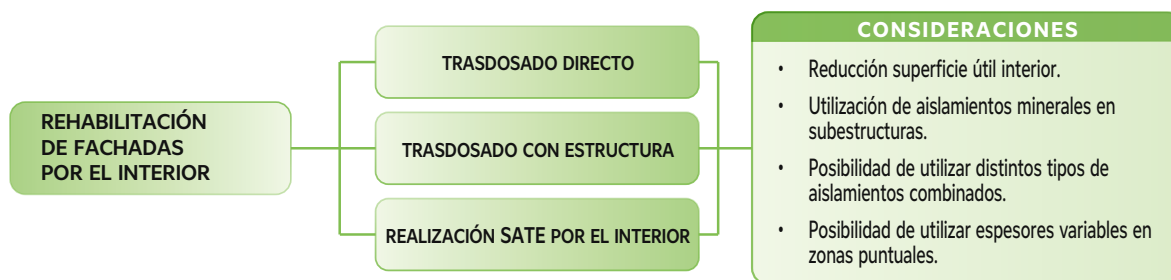


Figura 50. Consideraciones de la rehabilitación energética por el interior.

²⁷ Resistencia mínima a compresión que se debe exigir a un aislamiento térmico para poder considerar que soporta cargas y ser utilizado en pavimentos interiores o cubiertas con tránsito peatonal.

La rehabilitación de los huecos acristalados de fachada, tanto en lo referente al acristalamiento como a los marcos o perfiles, se presenta como una vía óptima para alcanzar mejoras significativas en la demanda energética del edificio y los consiguientes ahorros en términos económicos, reducción del consumo energético.

Por su propia naturaleza y por las soluciones constructivas históricamente adoptadas, el hueco es la parte térmicamente más débil de la envolvente de un edificio, y por él se producen importantes pérdidas de energía, grandes fugas de calor en régimen de invierno y un exceso de aportes solares en régimen de verano. Además, en el caso de los huecos acristalados, es necesario considerar tanto el aislamiento térmico ofrecido por la solución adoptada como sus prestaciones en control solar.

Las prestaciones térmicas del hueco también se verán mermadas por el mal estado de los marcos, descuadres y presencia de ranuras que comprometan las entradas de aire no deseado que se traducen en pérdidas térmicas.

4.1 DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE LAS CARPINTERÍAS. TRANSMITANCIAS TÉRMICAS Y PERMEABILIDAD

La normativa que regula las prestaciones térmicas del hueco es el Código Técnico de la Edificación y concretamente el Documento Básico de Ahorro de Energía (DB-HE).

En esta normativa, se establecen dos situaciones en el caso de reformas o rehabilitaciones:

- Si la reforma es > 25% de la envolvente, respecto a las condiciones de la envolvente térmica será necesario justificar el cumplimiento del aislamiento térmico, es decir, el valor límite de transmitancia térmica del hueco (U_{lim} [W/m²K] según la Tabla 3.1.1.a del CTE) y el valor límite del coeficiente global de transmisión de calor a través de la envolvente térmica (K_{lim} [W/m²K] según la Tabla 3.1.1.b), que estará en función de la compactidad del edificio (V/A [m³/m²]) y de la zona climática de invierno de la situación del edificio. Además, se justificará el cumplimiento del control solar de la envolvente térmica ($Q_{sol,jul}$ [kWh/m²-mes] según la Tabla 3.1.2 del HE1) y la permeabilidad al aire de los huecos de la envolvente térmica, $Q_{100,lim}$ [m³/h-m²] según la Tabla 3.1.2 - HE1. Es necesario tener en cuenta los criterios de no empeoramiento que están descritos en el Código de Técnico de Edificación.
- Si la reforma es < 25% de la envolvente, solamente será necesario justificar el cumplimiento de la transmitancia límite del hueco (U_{lim} [W/m²K] según la Tabla 3.1.1.a del CTE) y la permeabilidad al aire de los huecos de la envolvente térmica, $Q_{100,lim}$ [m³/h-m²] según la Tabla 3.1.2 - HE1.

De forma complementaria y respecto a la colocación en obra, es recomendable consultar la Norma UNE 85219:2023 de Ventanas, que tiene el objeto de definir los sistemas y condiciones técnicas que deben seguirse para la colocación de las ventanas con o sin cajón compacto de persiana.

4.2 PROPIEDADES DEL MARCO EN LAS CARPINTERÍAS

Las carpinterías, en la actualidad, se fabrican a partir de marcos de PVC, aluminio o madera, aunque en edificios antiguos es habitual encontrar también carpinterías de acero. El marco representa habitualmente entre el 25% y el 35% de la superficie del hueco.

Desde el punto de vista de la conductividad de los materiales, es importante tener en cuenta las distintas propiedades de los materiales utilizados en la fabricación de marcos para huecos ya que influirán en la transferencia de calor de la envolvente.

Tabla 7. Valores de conductividad de los materiales más habituales en carpinterías (Fuente: Catálogo CTE) (Ministerio de Fomento, 2011).

Material	Conductividad W/mK
Aluminio	160-250 W/mK
PVC	0,17 W/mK
Madera	0,13-0,19 W/mK
Acero inoxidable	13-17 W/mK
Hierro	80 W/mK

En la Tabla 7, se pueden observar las diferencias de pérdidas térmicas por conductividad de los distintos materiales que pueden formar parte del marco del hueco. En este sentido es importante resaltar que en materiales como el aluminio es fundamental la rotura de puente térmico en el marco para minimizar las pérdidas. Para romper los puentes térmicos se utilizan materiales de menor conductividad en un alto porcentaje y esto hace que materiales con una elevada conductividad dispongan de valores de transmitancia del marco adecuados con la incorporación de estos elementos.

La ruptura de puente térmico consiste en la incorporación en el marco de uno o varios elementos separadores de baja conductividad térmica que separan los componentes interiores y exteriores de la carpintería logrando reducir el paso de energía a su través, mejorando el comportamiento térmico de la carpintería (Figura 51).

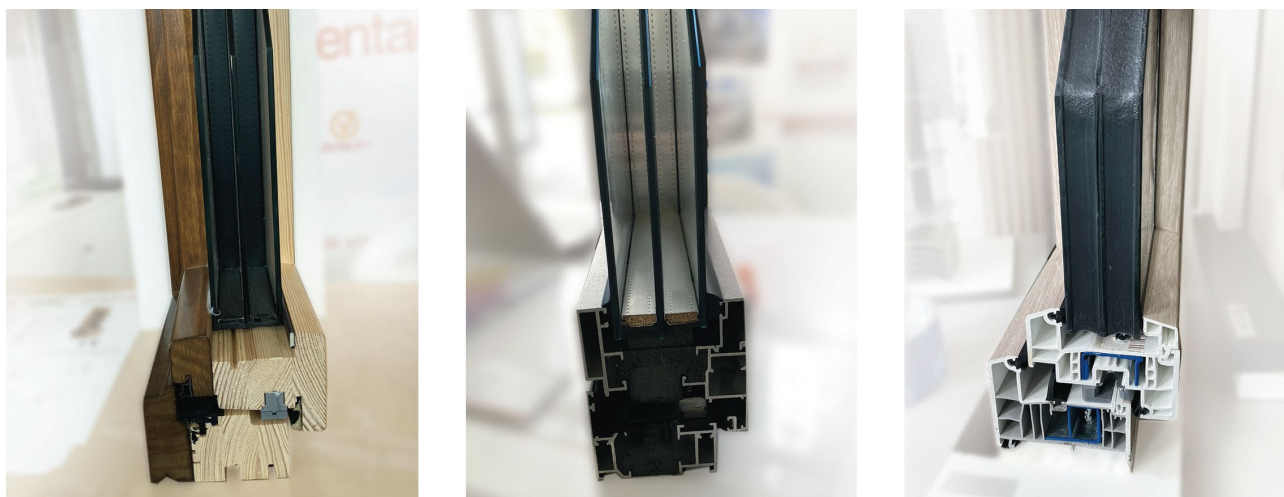


Figura 51. Distintos tipos de marcos en carpintería (madera, aluminio con RPT y PVC).

De la Tabla 8, se desprende que, tanto el marco de aluminio sin RPT (rotura de puente térmico) como los marcos metálicos tienen transmitancias térmicas del marco elevadas que es posible no cumplan con la transmitancia límite del hueco una vez determinada para un caso concreto.

Tabla 8. Transmitancia térmica de los perfiles según el Catálogo de elementos constructivos CTE.

Composición del marco carpintería	Uf, transmitancia térmica del marco [W/m²K]
Marco metálico sin rotura puente térmico	5,7
Marco metálico con rotura puente térmico d < 12 mm	4
Marco metálico con rotura puente térmico d ≥ 12 mm	3,3
Madera de 500 kg/m³ densidad y 60 mm de espesor	2,2
PVC 2 cámaras	2,2
PVC 3 cámaras	1,8
PVC 5 cámaras	1,4 a 1,3
PVC 6 cámaras	1,1 a 1,0
Aluminio sin RPT (rotura de puente térmico)	5,6
Aluminio con RPT (rotura de puente térmico)	1,9

En todo caso, es importante solicitar al suministrador de la carpintería la transmitancia térmica del marco U_f para poder determinar la transmitancia térmica del hueco U_w , en función de las características del vidrio utilizado (transmitancia del acristalamiento U_g) y el % de superficie del marco con relación al vidrio, de acuerdo con la norma que establece el cálculo de la transmitancia térmica de ventanas, puertas y persianas, UNE-EN ISO 10077-1:2020.

Es muy importante, en términos de aislamiento, independientemente de los materiales del marco, el sistema de apertura y cierre de la ventana, ya que este puede condicionar su permeabilidad al aire, es decir, el paso de aire cuando la ventana cerrada se somete a una presión diferencial entre ambas caras. Es preciso comprobar el parámetro de la permeabilidad al aire de los huecos de la envolvente térmica (Q_{100}), en la ficha técnica del suministrador de la carpintería. Algunos fabricantes ofrecen este dato según la clasificación de la UNE-EN 12207:2017 y dado que el CTE (Figura 52) lo establece en $m^3/h \cdot m^2$, es necesario aclarar que los valores de permeabilidad establecidos se corresponden con los que definen la clase 2 ($\leq 27 m^3/h \cdot m^2$) y clase 3 ($\leq 9 m^3/h \cdot m^2$) en la norma UNE.

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

^{*} La permeabilidad indicada es la medida con una sobrepresión de 100Pa, Q_{100} .

Los valores de permeabilidad establecidos se corresponden con los que definen la clase 2 ($\leq 27 m^3/h \cdot m^2$) y clase 3 ($\leq 9 m^3/h \cdot m^2$) de la UNE-EN 12207:2017.

La permeabilidad del hueco se obtendrá teniendo en cuenta, en su caso, el cajón de persiana.

Figura 52. Tabla 3.1.3-a- CTE DB-HE 1. Valores límite de permeabilidad al aire de los huecos de la envolvente térmica, $Q_{100,lim}$ [$m^3/h \cdot m^2$].

4.3 VIDRIOS. CARACTERÍSTICAS, PROPIEDADES, SELECCIÓN Y USOS

El vidrio es el elemento fundamental en el cerramiento si se atiende a la superficie ocupada. Su principal propiedad es la transparencia permitiendo elevados aportes de luz natural que contribuyen al confort de la vivienda. Desde la perspectiva del aislamiento térmico, las principales características que caracterizan a los vidrios son la transmitancia (U_g), el factor solar (g) y la transmisión luminosa (T).

Los valores de la transmitancia térmica del vidrio (U_g) se determina según UNE-EN 673: 2011 y se expresa en $W/m^2 \cdot K$, mientras que el factor solar del vidrio (g) se calcula según la UNE-EN 410:2011 y se expresa en valor decimal. El factor solar es el cociente entre la radiación solar a incidencia normal que se introduce en el edificio a través del acristalamiento y la que se introduciría si el acristalamiento se sustituyese por un hueco perfectamente transparente (Figura 53). Se refiere exclusivamente a la parte semitransparente de un hueco. Así, cuanto menor sea este factor, menor radiación solar y por tanto menores ganancias se introducirán por el vidrio. Por ejemplo, un factor solar ($g = 0,42$) significa que el 58% de la energía solar quedaría bloqueada al exterior.

El coeficiente de transmisión luminosa del vidrio (T) es el porcentaje de luz natural en su espectro visible que deja pasar un vidrio. Se expresa en tanto por uno (fracción) o tanto por ciento (%). Como ejemplo, si un vidrio se define con un 81% de transmisión luminosa indica que tiene una alta iluminación natural, mejora el confort visual y reduce el consumo de luz artificial.

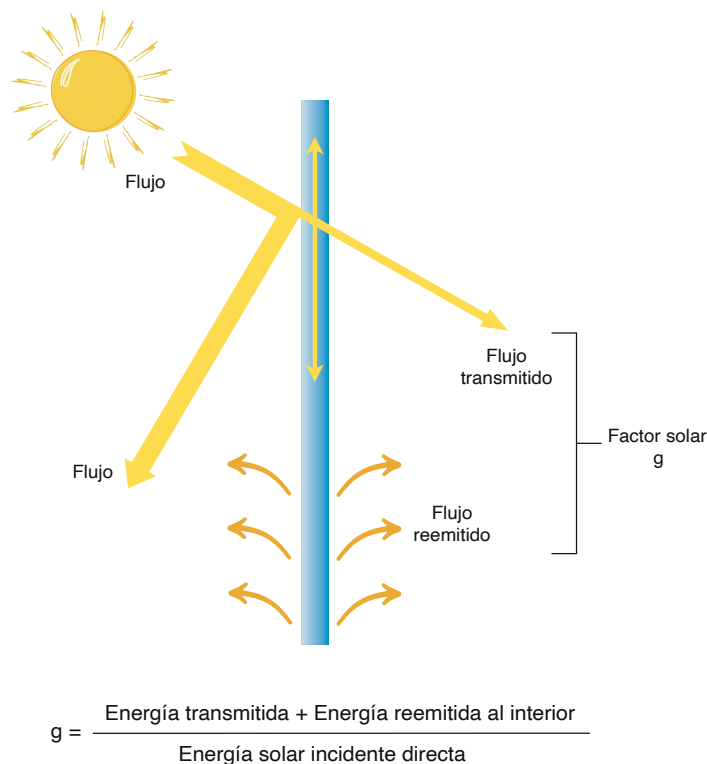


Figura 53. Esquema de las ganancias que se producen a través de un vidrio.

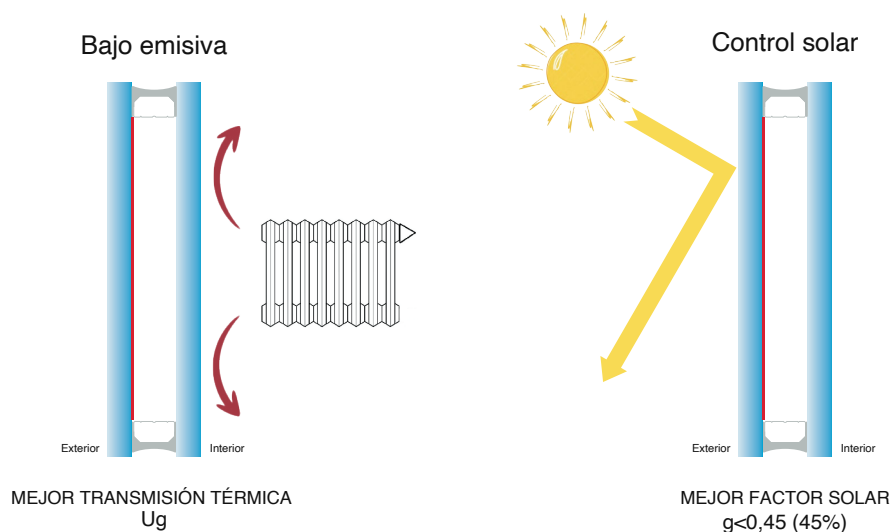


Figura 54. Vidrios de baja emisividad o aislamiento térmico reforzado (ATR).

En función de su configuración y de la presencia de capas que mejoran sus prestaciones de aislamiento y control solar, los vidrios pueden clasificarse en distintos grupos:

- Así en un primer grupo, se encuentran los vidrios monolíticos (Figura 55), formados por una única hoja de vidrio o formados por dos o más hojas unidas entre sí en toda su superficie. Los valores de referencia para la transmitancia (U) se puede considerar $5,7 \text{ W/m}^2\text{K}$ y $0,83$ para el factor solar (g).
- En un segundo grupo, se encuentran los vidrios de doble o triple acristalamiento separados por cámara o conjunto formado por dos o más láminas de vidrio monolíticos separados por uno o más espaciadores, herméticamente cerrados a lo largo de todo el perímetro y que la cámara puede contener aire o gas argón. La baja conductividad térmica del aire y más reducida del gas argón, limitan el intercambio de calor por convección y conducción (Figura 55).

Asimismo, a los vidrios se les puede aplicar tratamientos que mejoran sus prestaciones. Se trata de vidrios de **baja emisividad o aislamiento térmico reforzado (ATR)**. Estos vidrios contienen una capa de óxidos metálicos sobre una de sus caras, normalmente la cara en contacto con la cámara del vidrio en posición exterior (Figura 54). Esta capa de baja emisividad tiene la propiedad de que, en lugar de emitir energía, la refleja. Se pasa de una emisividad estándar del vidrio de $0,89$ a tener una emisividad de $0,01 - 0,05$ y se consigue un cambio de comportamiento sobre todo ante la radiación infrarroja. En consecuencia, mejora el aislamiento térmico, porque se reduce la transmitancia térmica del acristalamiento. Los vidrios de capa bajo emisivos siempre forman parte de un doble o triple acristalamiento.

Los vidrios de capa bajo emisivos, por tanto modifican el control solar del acristalamiento. El valor g se ve afectado. Se entiende como capa de control solar cuando esta proporciona un valor de factor solar g menor a $0,45$.

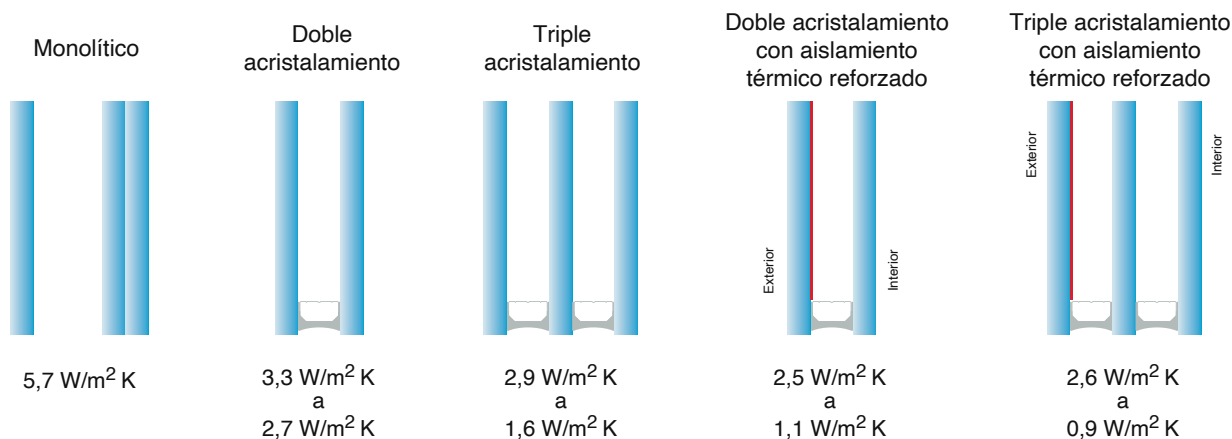


Figura 55. Transmitancias de referencia en vidrios en función de doble o triple vidrio y aplicación de tratamientos de aislamiento térmico reforzado (ATR).

En las disposiciones de doble o triple vidrio, el perfil espaciador o intercalario (Figura 56) separa los vidrios y se utiliza para conseguir la cámara. Con los perfiles intercalarios, en la ventana se forma un puente térmico lineal. Es habitual que el perfil intercalario sea de aluminio que es un material con una alta conductibilidad, siendo lo aconsejable el uso de perfiles intercalarios de otros materiales con un coeficiente térmico menor. En el estándar Passivhaus es habitual que se utilicen perfiles intercalarios "Warme Edge" o borde caliente. Estos perfiles están fabricados con acero inoxidable recubierto por material de baja conductividad térmica que mejora el aislamiento térmico, garantizando una excelente estanqueidad y una transferencia térmica muy baja por el borde perimetral.

El valor de la transmitancia térmica lineal o ψ (W/mK) del intercalario varían dependiendo del material de fabricación del mismo (aluminio, acero inoxidable, "Warm Edge"), el tipo de material del marco (madera, PVC, aluminio, madera-aluminio) y el tipo de sistema de vidrio (doble o triple acristalamiento). Así, por ejemplo, en ventanas con marco de aluminio y un sistema de doble acristalamiento, un fabricante de intercalarios puede ofrecer los valores de referencia que aparecen en la Tabla 9. Valor de transmitancia térmica lineal o ψ (W/mK) del intercalario para ventanas de doble acristalamiento aportados por un fabricante en función del material del marco.

El aumento progresivo del espesor de la cámara proporciona una reducción paulatina de la transmitancia térmica. Se puede llegar a alcanzar un 40% de reducción de la transmitancia en el vidrio pasando de una composición de 4-6-4 a 4-16-4. Esta reducción deja de ser efectiva cuando se producen fenómenos de convección dentro de la misma (en torno a los 17 mm), aunque se consigue mayor reducción de U en los vidrios con la incorporación de los vidrios de baja emisividad.

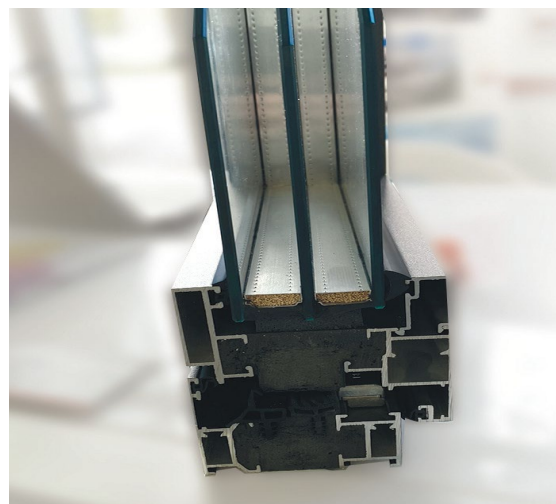


Figura 56. Vista del espaciador o intercalario de aluminio que separa un acristalamiento triple.

Tabla 9. Valor de transmitancia térmica lineal o ψ (W/mK) del intercalario para ventanas de doble acristalamiento aportados por un fabricante en función del material del marco.

Tipo intercalario	Aluminio	Acero inoxidable	Warm edge
Valor ψ (W/mk)	0,11	0,068	0,047

4.4 CÁLCULO DE LA TRANSMITANCIA DEL HUECO

Para el cálculo de la transmitancia térmica de huecos (ventana, lucernario o puerta) U_w [W/m²K] se empleará la norma UNE EN ISO 10077-1:2020.

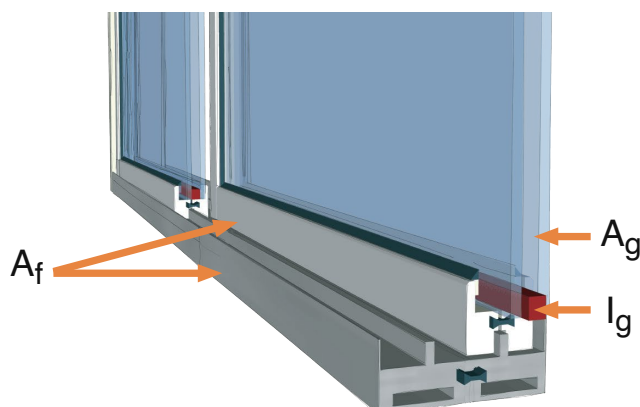


Figura 57. Esquema de los elementos de la ventana simple que se tienen en cuenta en el cálculo de la transmitancia según la UNE-EN ISO 10077-1.

Según la UNE EN ISO 10077-1, la transmitancia térmica de una ventana (Figura 57), U_w , se debe calcular empleando la ecuación 8:

$$U_w = \frac{\Sigma A_g U_g + \Sigma A_f U_f + \Sigma l_g \Psi_g + \Sigma l_{gb} \Psi_{gb}}{A_f + A_g} \quad (W/m^2K) \quad (8)$$

Donde:

A_g = área del acristalamiento (m^2).

A_f = área del marco (m^2).

l_g = longitud del espaciador (m).

l_{gb} = longitud de los barrotillos (m).

U_g = transmitancia térmica del acristalamiento (W/m^2K).

U_f = transmitancia térmica del marco (W/m^2K).

Ψ_g = transmitancia térmica lineal debida a los efectos térmicos combinados del espaciador, del acristalamiento y del marco (W/mK).

Ψ_{gb} = transmitancia térmica lineal debida a los efectos térmicos combinados del acristalamiento y los barrotillos (elementos de división en paños más pequeños del hueco que forma el marco) (W/mK).

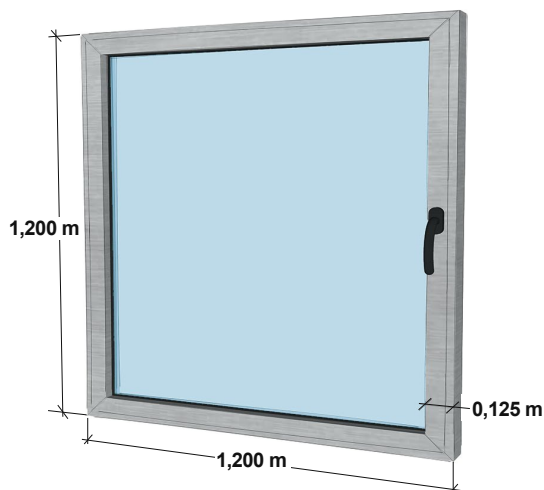


Figura 58. Dimensiones de una ventana para el ejemplo de cálculo de la transmitancia.

Esta norma establece fórmulas de cálculo más completas para el caso de la existencia de paneles opacos y paneles acristalados, que no serán objeto de esta publicación.

Se va a realizar un ejemplo de cálculo de la transmitancia de una ventana. Se trata de una ventana sencilla abatible sobre un eje vertical de dimensiones 1,20 x 1,20 m, y 0,125 m de ancho del marco, como se puede ver en la Figura 58. Se ha fabricado con un marco de aluminio con rotura de puente térmico cuya transmitancia del marco extraída de la ficha técnica del fabricante es U_f : 1,60 $W/m^2 \cdot K$.

La transmitancia del vidrio también se ha extraído de la ficha técnica del fabricante, U_g : 1,10 $W/m^2 \cdot K$, y se trata de una composición de vidrio doble 4-16-4, de baja emisividad, con cámara con argón 90% con factor solar $g=0,62$.

El intercalario o espaciador es de aluminio, según ficha del fabricante tiene una transmitancia térmica lineal de Ψ_g : 0,11 W/mK (Tabla 9).

Aplicando la ecuación 8 de cálculo de la UNE EN ISO 10077-1 se obtendrá:

$$U_w = \frac{0,90 \times 1,10 + 0,54 \times 1,60 + 3,8 \times 0,11}{0,54 + 0,90} = 1,58 \text{ W/m}^2K$$

Es importante destacar que el procedimiento de cálculo utilizado por algunos programas como CE3X, no tiene en cuenta para el cálculo el puente térmico que se produce entre el vidrio y el marco, por el espaciador o intercalario, es decir, en CE3X solo se nos pedirá el área del vidrio y el área del marco. Las fichas técnicas aportadas por los fabricantes de carpinterías utilizan habitualmente el procedimiento que ofrece la UNE EN ISO 10077-1, siguiendo las directrices del Documento de Apoyo 1 al DB-HE que, sí tiene en cuenta el espaciador, por lo que los resultados obtenidos por ambos procedimientos varían ligeramente.

4.5 SOLUCIONES DE REHABILITACIÓN ENERGÉTICA DE LA CARPINTERÍA

Las intervenciones sobre el hueco son sencillas y pueden representar una importante repercusión sobre el aislamiento térmico de la envolvente del edificio, si se incorporan elementos con mejores prestaciones y correctamente instalados.

En la Tabla 10 se muestra de manera orientativa y de forma resumida qué tipo de actuaciones se pueden realizar en la rehabilitación en carpinterías, teniendo en cuenta la época en la que se instalaron, las prestaciones energéticas y permeabilidad del marco, los sistemas de apertura y cierre de los que dispone y la posible aparición de condensaciones.

Tabla 10. Esquema orientativo de las intervenciones o posibles mejoras ante un determinado tipo de marco y vidrio.

Tipo marco y vidrio	Épocas	Prestaciones energéticas del marco	Permeabilidad del marco	Sistemas apertura y cierre	Condensaciones	Posibles mejoras
Madera y vidrio monolítico	Años 50	Bajas por su estado conservación	Alta permeabilidad	Abatibles	Sí	Sustitución
Metálicas sin RPT y vidrio monolítico	Años 50-80	Bajas por la conductividad	Alta permeabilidad	Correderas	Sí	Sustitución
Metálicas sin RPT y doble vidrio	Años 50-80	Bajas por la conductividad	Alta permeabilidad	Correderas	Sí	Sustitución
Metálicas con RPT y doble vidrio	Años 90	Buenas prestaciones	Buenas prestaciones	Abatibles	Sí en la zona de vidrio.	Incluir vidrios bajo emisivos o de control solar o sustitución total.
Metálicas con RPT y doble vidrio bajo emisivo	Actuales	Elevadas prestaciones	Elevadas prestaciones	Generalmente abatibles	No	-
Madera y doble vidrio bajo emisivo	Actuales	Elevadas prestaciones	Elevadas prestaciones	Generalmente abatibles	No	-
PVC y doble vidrio bajo emisivo	Actuales	Elevadas prestaciones	Elevadas prestaciones	Generalmente abatibles	No	-

La radiación solar sobre la envolvente y en concreto sobre los huecos puede permitir obtener ganancias que favorecen nuestro balance energético en invierno, pero también si esta radiación si no se controla o limita durante el verano, conllevará un sobrecalentamiento en el interior del edificio.

Se entiende por protección solar a cualquier dispositivo fijo o móvil que impida total o parcialmente el paso de la radiación solar al interior de un local o habitación.

La mejor forma de controlar la radiación solar sobre el hueco consiste en detenerla antes de alcanzar el mismo. Esta es una estrategia de ahorro energético para limitar la demanda de refrigeración en verano, pero en invierno el soleamiento permite reducir la demanda de calefacción. Por ello, es fundamental un correcto diseño de los huecos y de sus protecciones.

En este sentido, conviene tener en cuenta unas consideraciones básicas respecto al porcentaje óptimo de huecos en función de su orientación para el correcto aprovechamiento de la radiación solar y su influencia sobre el balance energético:

- En la fachada norte se requerirá un reducido porcentaje de huecos, para evitar las pérdidas energéticas ya que son las zonas que presentan mayores demandas de calefacción en invierno. Como orientación el porcentaje de huecos oscilará entre un 10-15%.
- En la fachada de orientación este, la vivienda recibe radiación solar durante las primeras horas de la mañana hasta mediodía, si bien en invierno dicha radiación será mucho más suave, mientras que en verano sobre la fachada con orientación este incidirá más directamente y durante mayor tiempo, de manera que es cuando se aporta mucha más cantidad de soleamiento a las estancias con esta orientación. Se recomienda reducir el tamaño de los huecos para que no sea excesivo, de esta manera también se evitará tener demandas de calefacción excesivas en invierno, así como de refrigeración en verano. Como orientación el porcentaje de huecos será inferior al 20%.
- La fachada oeste debe tener un tratamiento similar a la este, en cuanto porcentaje de huecos, aunque en este caso el sol incide fundamentalmente a partir del mediodía, sobre todo por la tarde recibándose la radiación solar de las últimas horas del día. Como orientación el porcentaje de huecos será inferior al 20%.
- La fachada sur es de gran importancia. Se trata sin duda de la zona de la vivienda que recibe mayor cantidad de radiación solar sobre todo en verano. Se recomienda el estudio de obstáculos naturales o de otra índole que puedan arrojar sombra a esta fachada. Como orientación el porcentaje de huecos estará entre un 40-60%.

En rehabilitación energética suele ocurrir que las dimensiones o disposiciones de los huecos en relación con su orientación no son los óptimos, por lo que es adecuado un correcto estudio de protecciones solares fijas y móviles que optimicen la carga solar tanto en verano como invierno. Y esto va a permitir un correcto funcionamiento o mejora sustancial de este elemento de la envolvente con respecto a su comportamiento energético.

5.1 EL PARÁMETRO DE CONTROL SOLAR SEGÚN EL CÓDIGO TÉCNICO DE EDIFICACIÓN

En el caso de los edificios nuevos, ampliaciones, cambios de uso o reformas en las que se renueve más del 25% de la superficie total, según el Documento Básico de Ahorro de energía, se deberá cumplir que el parámetro de control solar ($q_{sol,jul}$), en residencial privado será inferior a 2,00 (Figura 59). El parámetro de control solar es la relación entre las ganancias solares para el mes de julio ($q_{sol,jul}$), a través de los huecos pertenecientes a la envolvente térmica con sus protecciones solares móviles activadas y la superficie útil de los espacios incluidos dentro de la envolvente térmica.

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

Figura 59. Tabla 3.1.2- DB-HE 1 Valor límite del parámetro de control solar, $q_{sol,jul,lim}$ [$kWh/m^2 \cdot mes$].

En el documento de apoyo al Documento Básico de Ahorro de energía, se establecen valores de transmitancia total de energía solar de huecos en función de distintos dispositivos móviles de sombra (persianas, toldos o cortinas), tipo de vidrio y factor de reflexión de la protección exterior o interior y su tono claro u oscuro (Figura 60). En función de estas variables se establece la eficacia de la protección solar según la UNE-EN 14501:2021 ($g_{gl;sh,wi}$), como de efecto mínimo, pequeño, moderado, eficiente o muy eficiente.

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

Figura 60. Tabla 12 Transmitancia total de energía solar de huecos para distintos dispositivos de sombra móvil ($g_{gl;sh,wi}$) (Documento de Apoyo DA DB HE/1).

5.2 PROTECCIONES SOLARES. TIPOLOGÍAS, SELECCIÓN Y USOS

Existen diferentes tipos de elementos sombradores que se pueden utilizar para el control solar de los huecos de ventanas, y además se pueden agrupar con diferentes clasificaciones en función de si son fijas u orientables y su localización con respecto al hueco. Y cada una de estas tipologías se ajustará de manera más apropiada en función de las necesidades requeridas.

5.2.1 TIPOLOGÍA EN FUNCIÓN DE SU LOCALIZACIÓN EN EL HUECO

Las protecciones solares pueden estar localizadas en el interior o en el exterior del hueco de la envolvente, incluso pueden estar integradas en el cerramiento. En función de la estación y esta posición se obtendrá mayor o menor eficacia en el control de las ganancias térmicas.

- Protección solar en el interior del hueco. Cuando se emplean este tipo de protecciones se consigue una reducción de la radiación solar incidente sobre el interior, pero no se evita que la radiación atraviese el vidrio, iniciándose el efecto invernadero (Figura 61). A este grupo corresponden estores, persianas venecianas, o cortinas entre otros.
- Protección solar integrada en el acristalamiento. Se trata de un elemento tipo persiana instalado dentro de un doble o triple sistema de acristalamiento (Figura 61). En este caso parte de la energía se reflejará, parte será transmitida y otra será absorbida. El principal inconveniente es el mantenimiento de esa protección solar si existe alguna rotura por el uso.
- Protección solar exterior al hueco. Son los elementos más efectivos ya que se consigue hasta un 80% de reducción. Interceptan los rayos solares antes de que atraviesen el vidrio (Figura 61).

En el caso de la estación de invierno se busca una protección de los efectos de la luz (deslumbramiento) y no del calor, y por lo tanto es adecuado colocar los elementos de control solar en la cara interior del vidrio. Mientras que, en verano, el objetivo principal es el de proteger del calor y por lo tanto el sistema más efectivo es colocar la protección en la cara exterior del vidrio.

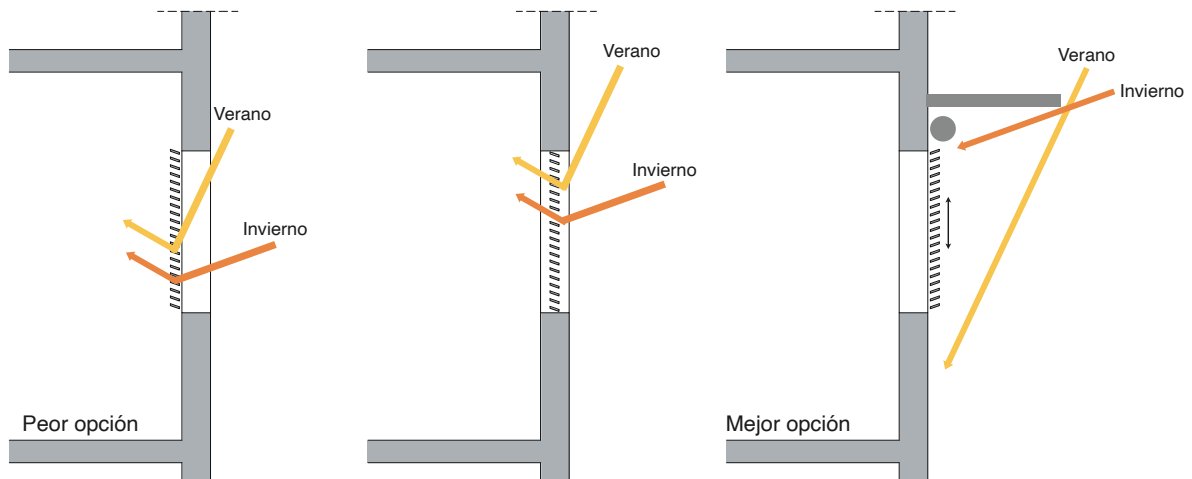


Figura 61. Esquema de la posición de una protección solar en el hueco y su eficacia en función de la estación del año.

5.2.2 TIPOLOGÍA EN FUNCIÓN DE SU FORMA

La selección de los tipos de protecciones solares según su forma que se pueden utilizar en los huecos de la envolvente va a venir determinada, para cada clima concreto, por la superficie y orientación del acristalamiento.

5.2.2.1 Protecciones fijas

Este tipo de protecciones fijas abarcan a elementos como: parasoles, voladizos, lamas fijas o incluso vegetación. En la Figura 62 se muestran algunas de estas soluciones.

El **voladizo horizontal o alero** elimina los rayos solares que tienen una mayor altura solar, pero reduce la entrada de luz natural siendo poco apropiado o menos efectivo para orientaciones este y oeste. Tampoco es la solución más apropiada en lugares donde existe un alto nivel de radiación y exceso de calor (clima mediterráneo).

Para ángulos bajos de incidencia del sol, es decir, los que provienen del este y del oeste, los **protectores solares verticales** son los más adecuados para ventanas en fachadas sureste y suroeste.

También es conveniente mencionar que los **árboles de hoja caduca** es otra manera de disponer de protecciones frente a la radiación solar, ya que en verano estos árboles proyectan sombra sobre el edificio y en invierno permiten la radiación directa desde el sur.

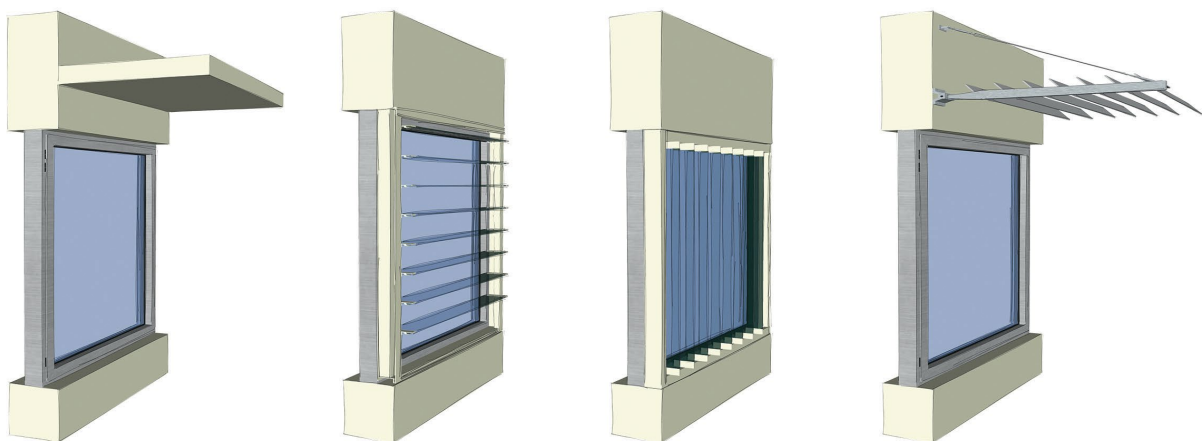


Figura 62. Esquema de las protecciones solares. de izquierda a derecha: Hueco de ventana con voladizo, Hueco de ventana con lamas horizontales fijas, Hueco de ventana con lamas verticales fijas, Hueco de ventana con voladizo de lamas.

5.2.2.2 Protecciones móviles

En este grupo de protecciones se encuentran elementos como, lamas móviles, contraventanas o ventanas mallorquinas, toldos y persianas, entre otros. Asimismo, existen diferencias de efectividad en la protección que proporcionan a los huecos, en función de la orientación en la que se encuentren estos en la envolvente.

Las protecciones con **lamas móviles** presentan la ventaja de que permiten el paso de la luz y a la vez impiden, total o parcialmente, la radiación solar directa sobre los vidrios en condiciones de verano. Los materiales más utilizados son el aluminio, la madera y el PVC. En cuanto a la forma geométrica de la lama, la más habitual es la elíptica, aunque también se utiliza el tipo Z y la arqueada.

La radiación solar directa con una baja altura solar (este y oeste) es más difícil de proteger, como ya se ha indicado anteriormente. En ese caso, las lamas verticales fijas, si son realmente efectivas, pero excluyen una gran parte de luz natural por lo que es preferible que sean lamas móviles.

Una alternativa a las lamas móviles son las **ventanas mallorquinas o contraventanas de lamas fijas**, en las cuales las lamas se fijan en posición horizontal o vertical a un bastidor. Este bastidor puede ser corredero (Figura 63) o practicable.



Figura 63. Muestra de lamas fijas sobre bastidor corredero.

Otra posibilidad sería la **persiana fija con lamas graduables** horizontales o verticales constituida por una serie de lamas sobre bastidor, dispuestas en forma horizontal o vertical, las cuales ofrecen protección de vistas y la iluminación y ventilación graduables.

Una de las protecciones solares dentro de este grupo, que ha sido la más utilizada en edificación, sería el grupo de **persianas**. En este su instalación se pueden distinguir tres grupos (Figura 64):

- Sistema compacto: El cajón se coloca encima de la ventana formando un bloque uniforme que simplifica la instalación.
- Sistema mini o exterior: Se coloca en el exterior de una ventana que no dispone de persiana.
- Sistema integrado en obra: Está pensado para que quede oculto en la obra.

Desde el punto de vista de su comportamiento térmico, el sistema compacto es el que más dudas y menor eficacia presenta y por tanto supone un mayor puente térmico.

Finalmente, se pueden disponer en las ventanas, elementos individuales de protección solar ligeros como los **toldos o persianas exteriores**, los cuales permiten controlar la luz solar con entrada directa por los huecos hacia el interior de la vivienda, a la vez que reducir las ganancias de calor interno.

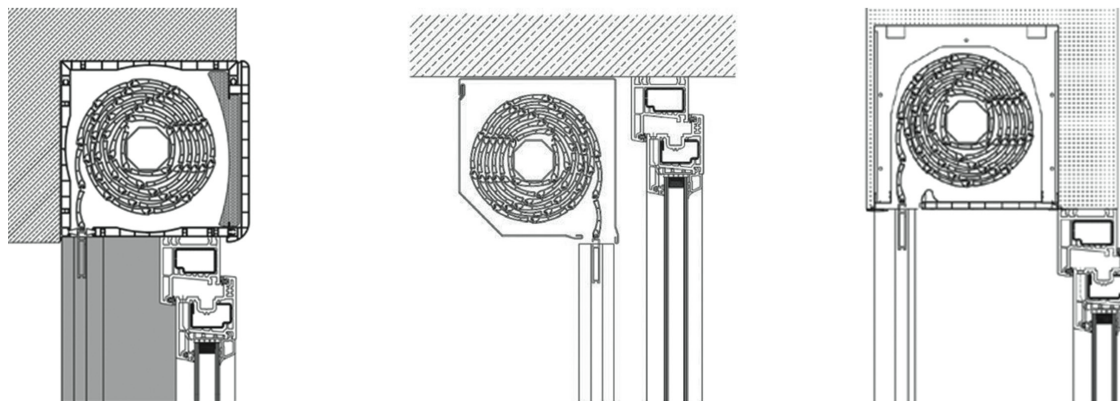


Figura 64. De izquierda a derecha. Sistema compacto, sistema exterior y sistema integrado en obra.

5.3 LAS PROTECCIONES SOLARES EN REHABILITACIÓN

En una actuación de rehabilitación se deberá incluir protecciones solares en los huecos, con un correcto estudio de las posibles protecciones fijas y móviles que permitan una optimización de la carga solar tanto en invierno como verano.

Cada vez es más habitual en intervenciones integrales la integración de una doble piel (Figura 65), que permita el aprovechamiento de la luz natural junto con elementos con características de aislamiento y protección solar. Es importante en estos elementos estudiar la conductividad y reflexión de los elementos que lo componen y su aportación al balance energético a través de los puentes térmicos de sus uniones con la fachada existente. En este sentido, se encuentran diversas soluciones cerámicas, de madera y otros materiales con buen comportamiento térmico (Figura 66).

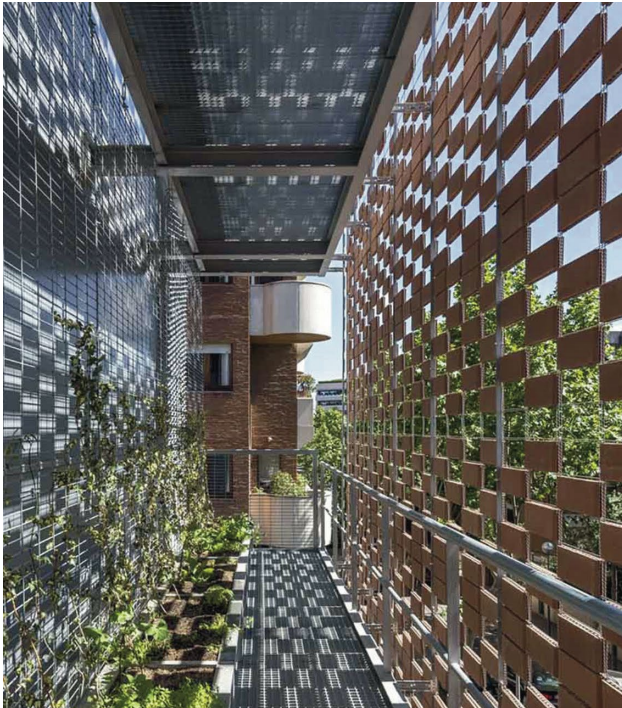


Figura 65. Piel cerámica como protección solar. Sistema Flexbrick

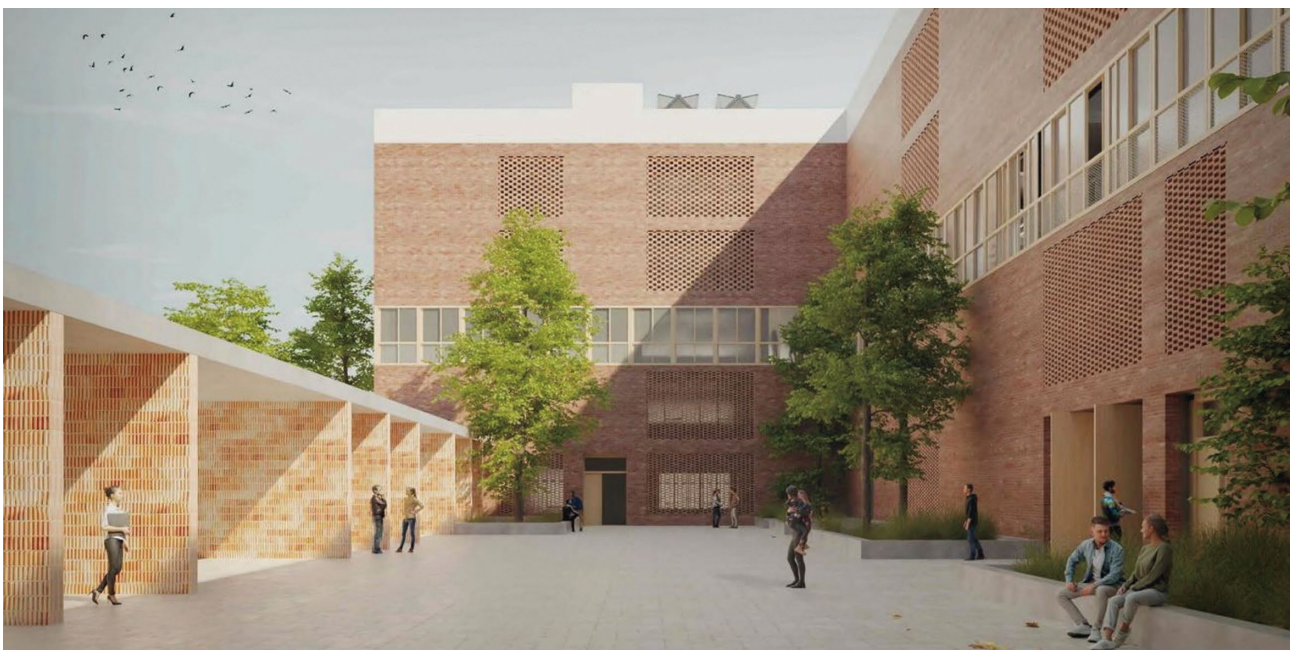


Figura 66. Representación de Natalia Aponte Loaiza para su Trabajo Fin de Máster "Domum Mulier: Rehabilitación de edificio en Barcelona".

Para alcanzar una envolvente altamente eficiente desde el punto de vista energético, es imprescindible incorporar un correcto aislamiento de la envolvente, estudiar una adecuada compacidad en su diseño, además de un cuidadoso diseño de los huecos y su orientación. También será necesario considerar la permeabilidad del edificio, de manera que en el Código Técnico de la Edificación (CTE DB-HE) en uso residencial privado, con una superficie útil total superior a 120 m², se establece un valor límite de la relación del cambio de aire con una presión de 50 Pa (n_{50}), en función de la compacidad del edificio, según la Tabla la Tabla 3.1.3.b-HE 1, que varía entre $n_{50}=3$ y $n_{50}=6$ renovaciones por hora (h^{-1}).

Se trata de un primer paso en la normativa española sobre los requisitos de hermeticidad, dado que en estándar Passivhaus el valor máximo de n_{50} debe ser 0,6 renovaciones a la hora (h^{-1}).

En la actualidad, el Código Técnico de la Edificación no establece especificaciones para las actuaciones de rehabilitación, aunque es necesario tener presente que, con la limitación de la infiltración no deseada de aire exterior a los edificios a través de huecos, pequeñas rendijas, fisuras o agujeros, se conseguirán edificios más estancos al paso del aire y ello conllevará menor porcentaje de pérdidas en el balance energético y por tanto una menor demanda energética.

Las infiltraciones afectan negativamente a la eficiencia energética, debido a las pérdidas energéticas que supone la evacuación hacia el exterior del aire tratado y la consiguiente introducción de aire exterior al edificio, implicando una carga térmica adicional. En este sentido, un mayor espesor del aislamiento o aumento de las prestaciones de la carpintería no suponen una mayor hermeticidad. Así, un valor de 10 (h^{-1}) significa que el aire del interior de una vivienda es renovado 10 veces cada hora, permite entender la relación directa con las pérdidas energéticas.

Es importante destacar que una construcción con una baja permeabilidad al aire tendrá que ir acompañada de un sistema de ventilación que garantice las necesidades de confort y salubridad de los espacios.

Al diseñar un edificio con bajas infiltraciones, deberá definirse una línea de estanqueidad en la sección de la envolvente térmica del mismo, que no deberá ser perforada ni atravesada por ningún elemento. Los puntos más habituales de fuga de aire en los edificios son principalmente:

- Encuentros de fachada con estructura.
- Cambios de material constructivo.
- Contorno de huecos y encuentros de instalación de carpintería exterior.
- Instalaciones eléctricas, sobre todo mecanismos empotrados en paredes.
- Sistema de ventilación. Rejillas, aireadores y campana extractora.

Estos puntos de posible entrada de aire deben ser tratados convenientemente mediante cintas y otros elementos específicos para hermeticidad.

6.1 PERMEABILIDAD AL AIRE DE LOS MATERIALES Y DIFUSIÓN DEL VAPOR

Las soluciones constructivas y condiciones de ejecución de los elementos de la envolvente térmica asegurarán una adecuada estanqueidad al aire si se emplean materiales de baja permeabilidad y se cuidan los encuentros entre huecos y opacos, puntos de paso a través de la envolvente térmica (Figura 67) y puertas de paso a espacios no acondicionados.

En el caso de querer garantizar la estanqueidad al aire de la construcción, se pueden emplear materiales estancos al paso de este como pueden ser:

- Tableros multicapa de juntas selladas con juntas especiales para hermeticidad.
- Telas freno de vapor/barrera de vapor instaladas con solapamiento o selladas con cintas de hermeticidad.
- Hormigón, cemento.
- Paramento de obra con acabado interior a base de capa continua de yeso.
- Cintas declaradas como estancas al paso del aire, con base butílica, acrílica y sin disolventes.
- Cintas precomprimidas a base de poliuretano.



Figura 67. Tratamiento de puntos con posibles filtraciones con cintas y pinturas herméticas.

La hermeticidad al paso del aire de los materiales de construcción se mide en $\text{m}^3/\text{h}/\text{m}^2$ según la UNE-EN 12114:2000. Como norma general, se recomienda que la hermeticidad no sea mayor a $0,1 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^2$, aunque en el estándar Passivhaus el valor que se exige es mucho más restrictivo, siendo de $0,06 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^2$.

En la Tabla 11 se puede ver la hermeticidad al aire de algunos materiales ensayados para una diferencia de presión de 50 Pa y también el valor que tienen de factor de resistencia contra la difusión del vapor de agua, μ , teniendo en cuenta que la resistencia contra la difusión del vapor de agua se mide con el factor adimensional μ , siendo este factor para aire inmóvil de 1.

Tabla 11. Valores de resistencia a la difusión de vapor de agua en estado seco y permeabilidad al aire.
Catálogo de Elementos Constructivos del Código Técnico de la Edificación.

Material	Permeabilidad al aire en $\text{m}^3/(\text{m}^2\text{h})$ a 50 Pa	μ
Hormigón	Hermético	100
Yeso	Hermético	10
Hormigón celular	0,009	5-10
Lana mineral	13-150	1
Aislamiento rígido mineral	0,003-11	20-250
Madera	0,0003	20-50
Conglomerado DF	0,05-022	50-100
Lámina PE-0,1 mm	0,0015	20
Lámina anti-viento	1	<0,08
Enfoscado cal	0,02-0,6	8
Placa de yeso	0,002-0,003	10
Enfoscado cemento y cal	0,002-0,05	8

Una envolvente térmica hermética al paso del aire puede ser perfectamente transpirable al paso del vapor de agua, por lo que es algo necesario realizar el estudio de condensaciones intersticiales y superficiales. En el diseño de las soluciones constructivas de las envolventes con los espesores de aislamiento requeridos en el Código Técnico de la Edificación, es necesario evitar estas condensaciones. Para ello, es importante considerar la resistencia a la difusión de vapor de agua en estado seco, ya que el aire caliente y húmedo fluye hacia el exterior del edificio por medio de algún hueco en la envolvente, y la capacidad del aire de retener el vapor de agua se ve reducida al ponerse en contacto con elementos fríos dando lugar a condensaciones intersticiales, quedando la humedad retenida en la envolvente dando lugar al deterioro de los materiales y provocando puentes térmicos y crecimiento de mohos.

El cálculo del valor de resistencia en la envolvente térmica se mide con el coeficiente **sd** (metros), siendo $sd = \text{factor } \mu \times \text{espesor del material}$.

6.2 DETERMINACIÓN DE LA ESTANQUEIDAD AL AIRE DE LA ENVOLVENTE TÉRMICA

La hermeticidad se mide con el ensayo de Blower Door y según la UNE-EN ISO 9972:2019 de prestaciones térmicas de los edificios. Determinación de la permeabilidad al aire de los edificios. Método de presurización con ventilador.

El método de presurización con ventilador tiene el propósito de caracterizar la permeabilidad de la envolvente de un edificio o partes del mismo. Hay dos procedimientos de medición: despresurización o presurización de un edificio o parte del mismo. La parte del edificio medido debe incluir todos los espacios acondicionados.

El ensayo se realiza con el montaje de una puerta soplante, o una puerta o ventana equipada con un ventilador o soplador. Se asegura que las juntas entre el equipo y el edificio estén selladas para eliminar cualquier fuga de aire. El ventilador o soplador dispone de un motor de velocidad variable que proporciona un flujo de aire constante a cada diferencia de presión durante el período requerido para obtener las lecturas de caudal de aire (Figura 68). El instrumento es capaz de medir diferencias de presión con una precisión de ± 1 Pa en el rango de 0 a 100 Pa.

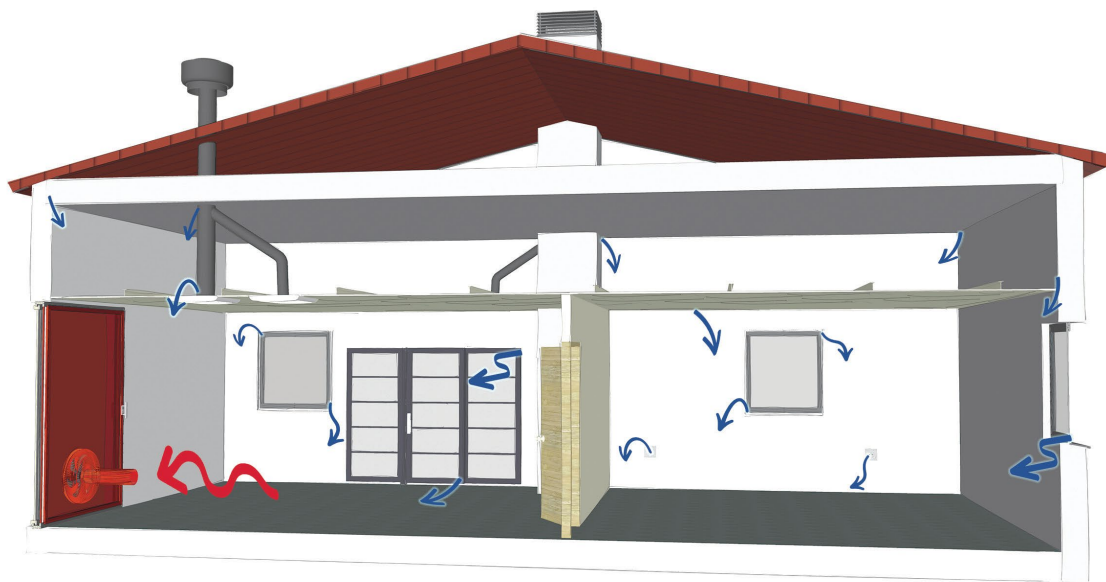


Figura 68. Esquema de las infiltraciones que provoca la puesta en marcha del Blower Door Test.

El Documento Básico Ahorro de energía en su anejo H indica que la determinación de la permeabilidad del aire del edificio podrá realizarse mediante dos formas:

- 1) A partir de la realización del ensayo mediante el método 1 o 2 de la norma UNE-EN ISO 9972:2019.

Método 1 se ensaya el edificio en uso donde las aberturas de ventilación natural se han cerrado y sellado todos los sistemas de ventilación mecánica y cerrado las aberturas de aire acondicionado.

Método 2 se ensaya la envolvente del edificio donde todas las aberturas se han sellado intencionadamente, cerrando las puertas, ventanas y trampillas.

- 2) Mediante valores de referencia con la determinación del valor de la relación del cambio de aire a 50 Pa, n_{50} , a partir de la siguiente expresión:

$$n_{50} = 0,629 (C_o \cdot A_o + C_h \cdot A_h) / V_{in} \quad (9)$$

Donde:

n_{50} = valor de la relación del cambio de aire a 50 Pa.

V_{in} = volumen interno de la envolvente térmica, en $[m^3]$.

C_o = coeficiente de caudal de aire de la parte opaca de la envolvente térmica, expresada a 100 Pa, en $[m^3/hm^2]$, obtenido de la Tabla a-Anejo H.

A_o = superficie de la parte opaca de la envolvente térmica en contacto con el aire exterior, en $[m^2]$.

C_h = permeabilidad de los huecos de la envolvente térmica, expresada a 100Pa, en $[m^3/hm^2]$, según su valor de ensayo.

A_h = superficie de los huecos de la envolvente térmica, en $[m^2]$.



Figura 69. Medición de la permeabilidad al aire del edificio mediante el ensayo "Blower Door".

7.1 ANTECEDENTES Y EXIGENCIAS NORMATIVAS EN LAS INSTALACIONES DE VENTILACIÓN

En rehabilitación energética no se suele prestar mucha atención a las instalaciones de ventilación existentes, salvo que por su ausencia o insuficiencia se consideren necesarias. De hecho, la lectura del actual Documento Básico DB-HS 3 en su versión de 2019 no dedica ningún artículo específico de la aplicación de este documento en edificación existente, por lo que su empleo en este tipo de edificaciones se ciñe a los casos generales establecidos en la primera parte del CTE, como por ejemplo en cambios de uso, ampliaciones o rehabilitaciones integrales.

En estos últimos casos, el documento básico (Figura 70) establece unas necesidades mínimas de ventilación de forma general, estableciendo una serie de caudales mínimos de admisión y extracción para cada una de las estancias de las viviendas, en función del número de dormitorios que posean.

Tipo de vivienda	Caudal mínimo q_v en l/s				
	Locales secos ^{(1) (2)}			Locales húmedos ⁽²⁾	
	Dormitorio principal	Resto de dormitorios	Salas de estar y comedores ⁽³⁾	Mínimo en total	Mínimo por local
0 o 1 dormitorios	8	-	6	12	6
2 dormitorios	8	4	8	24	7
3 o más dormitorios	8	4	10	33	8

(1) En los locales secos de las viviendas destinados a varios usos se considera el caudal correspondiente al uso para el que resulte un caudal mayor

(2) Cuando en un mismo local se den usos de local seco y húmedo, cada zona debe dotarse de su caudal correspondiente

(3) Otros locales pertenecientes a la vivienda con usos similares (salas de juego, despachos, etc.)

Figura 70. Tabla 2.1 DB-HS 3. Caudales mínimos para ventilación de caudal constante en locales habitables.

A este respecto, también hay que indicar que este DB establece que para que se pueda garantizar una adecuada ventilación de las viviendas, se debe asegurar la entrada, a través de los locales secos²⁸, de un determinado caudal de aire, que “barrerá” los contaminantes²⁹ del ambiente, hasta extraerlos a través de los locales húmedos³⁰.

Las razones para efectuar una correcta ventilación, además del cumplimiento normativo, es la consecución de un adecuado ambiente para el usuario, que le proporcione las correctas condiciones de salubridad, así como una adecuada percepción del confort. Además, una adecuada ventilación también favorece a la correcta conservación de las edificaciones, al reducir las concentraciones de vapor de agua de su interior, reduciendo así las posibilidades de que se produzcan condensaciones que sean motivo de diversos tipos de lesiones.

Para esto, como ya se ha mencionado, el DB-HS 3 establece una serie de caudales mínimos, que se han establecido de forma que se aseguren concentraciones medias de CO₂ por debajo de los 900 ppm y reduciendo los posibles picos de concentración por encima de los 1600 ppm. Este documento utiliza este contaminante (el CO₂) como un indicativo válido para asegurar una adecuada ventilación y condiciones de salubridad interiores. Para asegurar estas condiciones de salubridad, el documento básico permite la colocación de sensores de CO₂ que actúen sobre los sistemas de ventilación adecuando los caudales a las necesidades en base al nivel de contaminantes presente, estableciendo un caudal mínimo de 1,5 l/s por local habitable en los periodos de no ocupación.

No se debe confundir la ventilación con las infiltraciones de aire no controladas que se puedan producir por los elementos de la envolvente (ver capítulo 6). Cuando se habla de sistemas de ventilación se refiere a sistemas específicos que aseguren unos determinados caudales renovación de aire, tal y como se ha indicado en párrafos anteriores.

En proyectos de rehabilitación energética que buscan mejorar la eficiencia de la envolvente de un edificio, tanto en términos de comportamiento térmico como de hermeticidad, la ventilación de las viviendas se presenta como una de las cargas térmicas

28 Los locales secos se consideran los dormitorios, salones, salas de estar, comedores y/o cualquier espacio análogo.

29 Se consideran dos tipos de contaminantes, los perceptibles (olores, tabaco, cocción de alimentos), y los no perceptibles (CO₂, CO, SO₂, partículas en suspensión, etc.). Los contaminantes perceptibles pueden necesitar una actuación puntual de ventilación (apertura de ventanas), mientras que los no perceptibles necesitan para su eliminación una ventilación permanente.

30 Los locales húmedos se consideran los aseos, baños y cocinas.

más significativas a tener en cuenta. En otras palabras, al mejorar el aislamiento térmico y la hermeticidad de un edificio, se provoca la necesidad de reducir la carga térmica asociada al sistema de ventilación. La consecución de esta reducción dependerá del tipo de sistema de ventilación que se utilice.

7.1.1 RECORRIDO DE LA VENTILACIÓN GENERAL EN UNA VIVIENDA

La admisión del aire exterior para la renovación puede hacerse a través de aperturas en los cerramientos exteriores (muros o carpinterías), practicados en estancias secas tales como el comedor, la sala de estar y los dormitorios.

Estos elementos de admisión pueden crearse con elementos prefabricados instalados casi siempre en las carpinterías exteriores o pueden estar configurados en las propias carpinterías exteriores mediante la utilización de sistemas de microventilación. Los elementos prefabricados, para que sean más eficientes, pueden estar dotados de membranas u otros elementos para evitar la aparición de ruidos por la entrada de aire a través de estas aperturas.

En el interior de la vivienda, el paso de este aire tendrá lugar a través de aberturas de paso normalmente situadas en las carpinterías que comunican con pasillos y vestíbulos. Realizándose la extracción de este aire viciado por las cocinas, los baños y aseos, a través de conductos de extracción verticales hacia la cubierta del edificio.

A parte de lo anterior, una de las tendencias más significativas hoy en día, es la que lleva a admitir el aire a través de conductos específicos en cubierta, para su posterior distribución a través de conductos a las estancias adecuadas (ventilación forzada de doble conducto).

7.2 SISTEMAS DE VENTILACIÓN. TIPOLOGÍAS, CARACTERÍSTICAS Y CONDICIONANTES DE DISEÑO

Los sistemas de ventilación posible en edificios residenciales existentes pueden llegar a ser de tres tipos:

- o **Ventilación mecánica:** ventilación en la que la renovación del aire se produce por el funcionamiento de aparatos electromecánicos dispuestos al efecto. Puede ser con admisión mecánica, con extracción mecánica o equilibrada.
- o **Ventilación natural:** ventilación en la que la renovación del aire se produce exclusivamente por la acción del viento o por la existencia de un gradiente térmico entre el punto de entrada y el de salida (está prohibida su utilización en vivienda nueva).
- o **Ventilación híbrida:** ventilación en la que, cuando las condiciones de presión y temperatura ambientales son favorables, la renovación del aire se produce como en la ventilación natural y, cuando son desfavorables, la ventilación se realiza con extracción mecánica.

7.2.1 SISTEMAS DE VENTILACIÓN NATURAL

Este tipo de ventilación es la más frecuente en edificios residenciales anteriores a la aparición del CTE, donde las condiciones de salubridad del ambiente interior están condicionadas a la presencia de infiltraciones, a la apertura de carpinterías exteriores por parte de los usuarios y a la extracción natural que se produce por efecto térmico o efecto Venturi en conductos de ventilación que se encuentran en cuartos húmedos que carecen de huecos al exterior (normalmente baños y aseos).

Como el periodo constructivo antes del CTE es tan amplio y han existido a este respecto normativas dispares en cada una de las comunidades autónomas e incluso en poblaciones, la variedad casuística que es posible encontrar con este tipo de ventilaciones es bastante numerosa. Casi todas las posibilidades que se pueden encontrar coinciden en que la admisión de aire se realiza de forma natural, normalmente a través de la apertura de huecos exteriores e incluso con un aporte de ventilación proveniente de las infiltraciones por estas carpinterías. Esta ventilación puede servir indistintamente para la entrada o salida de aire en las estancias donde se encuentre.

Sin embargo, en las estancias húmedas, es posible encontrar diversas circunstancias. En cocinas lo más usual es que cuenten con una ventilación natural a través de un hueco al exterior, junto con una extracción conducida para la evacuación de humos de cocción. Mientras que, en cuartos de baño y aseo, se pueden dar casos en los que la ventilación (admisión y extracción) se produzca a través de huecos exteriores y/o es posible encontrar conductos de ventilación (normalmente tipo shunt) que producen una extracción por efecto térmico o Venturi. La presencia de conductos de extracción se hace más frecuente en baños y aseos que no están dotados de ventilación a través de huecos al exterior (Figura 71)

Estos sistemas no están permitidos en viviendas nuevas, pero sí, con condicionantes, en trasteros, garajes y almacenes de residuos.

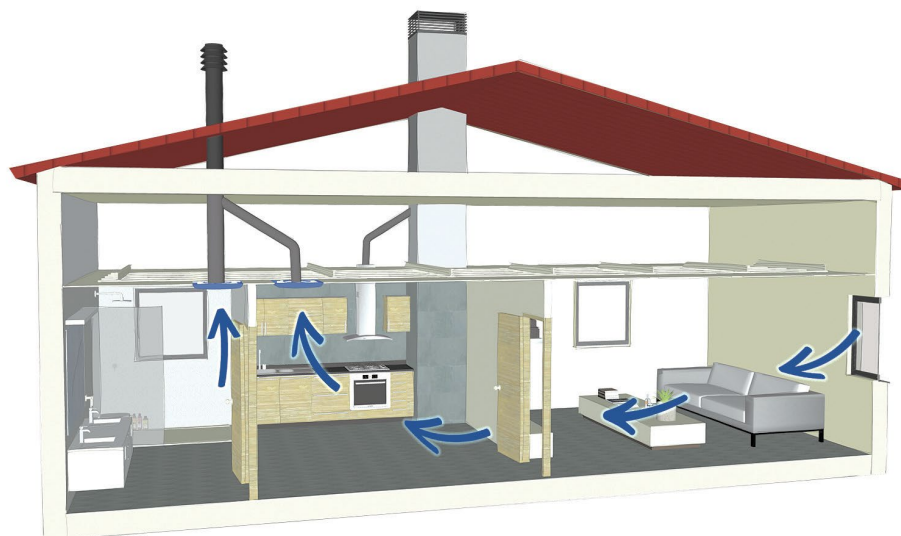


Figura 71. Ventilación natural en edificación.

7.2.2 SISTEMAS DE VENTILACIÓN HÍBRIDA

Este tipo de ventilación aparece más frecuentemente en edificaciones realizadas a partir de la entrada en vigor del Código Técnico de Edificación, y consisten en sistemas de ventilación con admisión natural, a través de aireadores y/o la propia permeabilidad de las carpinterías exteriores y un sistema de extracción mecánica con un extractor en cubierta, que cuando las condiciones atmosféricas son adecuadas, pueden funcionar de forma natural y cuando no lo son se activan los extractores mecánicos, asegurando así la ventilación permanente de las viviendas (Figura 72).

A diferencia de los sistemas anteriores, si el sistema híbrido está bien realizado, nos asegura una ventilación permanente de la vivienda, totalmente independiente de las condiciones de utilización del usuario, es decir, la correcta ventilación se realiza sin que el usuario tenga que realizar la apertura de las carpinterías exteriores.

Esta situación puede que no se de en todas las edificaciones, ya que en muchas ocasiones se pueden encontrar con sistemas mal configurados, donde los extractores de cubierta sólo funcionan cuando el usuario los activa o se cuenta con pequeños extractores colocados en los baños y aseos que funcionan con el encendido de luces o a demanda del usuario a través de un interruptor o pulsador temporizado. En estas últimas situaciones, a efectos prácticos, el sistema de ventilación funciona como un sistema de ventilación natural, donde esta no es permanente ni asegura una adecuada calidad del aire interior.

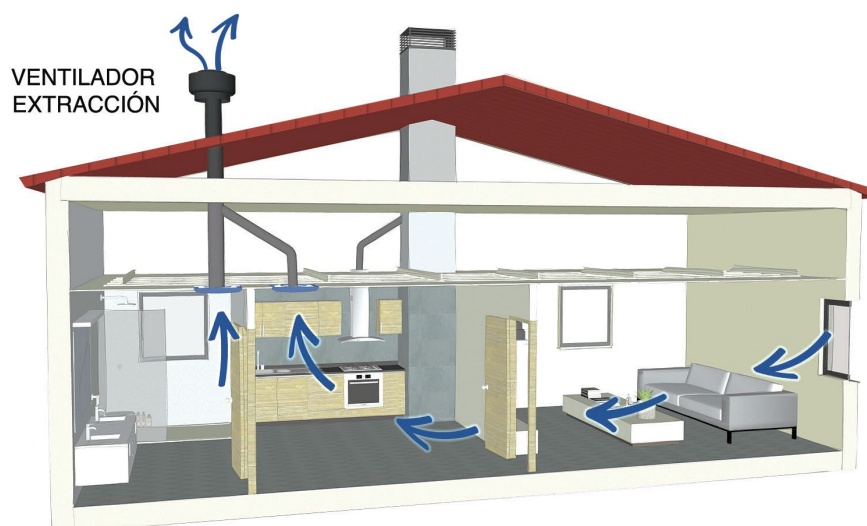


Figura 72. Ventilación híbrida en edificación.

7.2.4 SISTEMAS DE VENTILACIÓN MECÁNICA

Como en el sistema anterior, son frecuentes desde la entrada en vigor del CTE, y consisten en instalaciones que aseguran la correcta ventilación usando una ventilación mecánica que funciona permanentemente, existiendo diversas posibilidades. Las más frecuentes son las siguientes:

- o Admisión natural y extracción mecánica: consisten en un sistema cuya admisión es a través de los cerramientos exteriores (con aireadores u otros elementos) que pasan de los cuartos secos a los húmedos, en los cuales, a través de conductos, se extrae el aire viciado al exterior a través de la cubierta del edificio. Es decir, funciona como un sistema híbrido cuando están en funcionamiento los extractores.
- o Admisión y extracción mecánica: estos sistemas poseen una doble red de conducciones, una para la admisión de aire, que distribuye el aire tomado del exterior por la vivienda vertiéndolo en las zonas secas y otra de conductos que extrae el aire de los cuartos húmedos y los expulsa hacia el exterior (Figura 73).

En estos últimos equipamientos se pueden implementar distintos accesorios para mejorar su rendimiento energético, el más importante de ellos son los dispositivos de recuperación de calor, que aprovechan la energía del aire de extracción para cederla al aire de impulsión y así reducir las pérdidas energéticas que provocan los sistemas de ventilación en las viviendas.

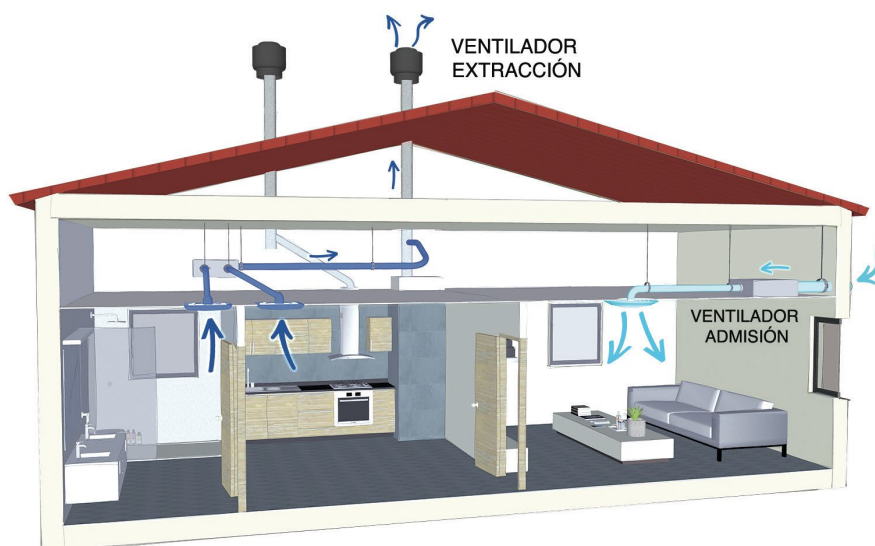


Figura 73. Ventilación con admisión y extracción mecánica en edificación..

7.3 SISTEMAS DE VENTILACIÓN MECÁNICA CON RECUPERADOR DE CALOR, EFICIENCIA ENERGÉTICA Y SALUBRIDAD

Las pérdidas descontroladas del aire ya climatizado que se producen a causa de la ventilación, se pueden paliar con la colocación en los sistemas de ventilación mecánica controlada (VMC) de un *recuperador* de parte de la energía del aire que se va a extraer.

Estos equipos, más frecuentes en instalaciones de ventilación en edificios terciarios, se están empleando cada vez más en viviendas, contribuyendo a una mejor calificación energética al reducir las pérdidas producidas por la necesidad de ventilar estas.

El objeto de los recuperadores de calor es captar la máxima cantidad posible de calor del aire que va a ser expulsado para transmitirlo al aire limpio que se introduce en el edificio. Para ello se utiliza normalmente un intercambiador de flujo cruzado, reutilizando entre el 50 y el 95% del calor del aire que se perdería.

Suelen ir dotados, antes del cruce de los dos aires (nuevo y de extracción), de sendos filtros, así como de un desagüe para evacuar los posibles condensados del aire y así no dañar los intercambiadores térmicos. También van equipados con dos ventiladores que fuerzan el tiro para los dos aires. Si estos intercambiadores están alojados en la misma caja que el recuperador, se quiere decir *recuperadores dinámicos*, mientras que si los ventiladores están alojados de forma independiente (por ejemplo, en cubierta), se estaría ante *recuperadores estáticos*.

En muchos casos, los recuperadores utilizados en sistemas residenciales, también van dotados de sistemas de enfriamiento gratuito (free cooling) de forma automática, es decir, en función de la demanda energética, si el aire del exterior se encuentra en mejores condiciones de temperatura que el aire interior, se activa un by-pass, de forma que se evita la recuperación, produciéndose una ventilación total (Figura 74). Normalmente en estas condiciones, los equipos de ventilación suelen aumentar los caudales de ventilación, contribuyendo así al acondicionamiento térmico interior de la vivienda, reduciendo las cargas internas y mejorando así el rendimiento de las instalaciones de climatización.

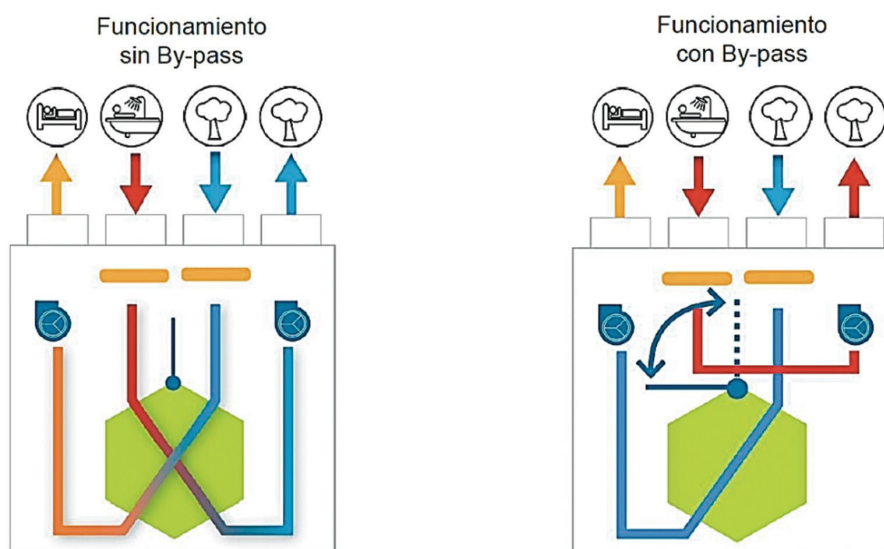


Figura 74. Funcionamiento del by-pass para ventilación gratuita en un recuperador de calor. Fuente: Soler&Palau.

7.4 ANÁLISIS DE LA VENTILACIÓN EXISTENTE Y PROPUESTAS DE MEJORA

Cuando se considera proponer la rehabilitación del sistema de ventilación de una edificación residencial existente, se puede abordar esta propuesta desde dos perspectivas fundamentales. La primera se centra en mejorar la calidad del ambiente interior de la vivienda, priorizando la salubridad. La segunda perspectiva se enfoca en aspectos energéticos, buscando optimizar el rendimiento y la eficiencia del sistema para reducir el consumo energético.

Si se plantea la rehabilitación del sistema de ventilación existente para mejorar las condiciones de salubridad interiores, se debe de conocer qué tipo de ventilación es la que es necesario intervenir, ya que en función de esto se podrá adoptar distintas soluciones.

Normalmente en estos casos, se trata de sistemas de ventilación natural, cuyo funcionamiento está sometido fundamentalmente a la apertura de ventanas del usuario. Una de las opciones más sencillas, sería añadir aireadores en las carpinterías exteriores (que pueden venir incorporados a las mismas en caso de haberlas sustituido) o en los cerramientos de fachada, para posteriormente instalar ventiladores híbridos en las salidas a cubierta de los conductos de ventilación (shunts o similares). Esta solución convertiría un sistema de ventilación natural en uno híbrido (como lo recoge el vigente DB-HS 3) y no solo cumpliría con los requisitos normativos, sino que además se conseguiría asegurar la calidad del aire interior.

En el caso de edificios muy antiguos que no disponen de conductos en cubierta, o incluso en el caso anterior, existe otra opción más invasiva como sería la instalación de un sistema de ventilación mecánico simple (admisión natural y extracción forzada) o un sistema de doble conducto con ventilación mecánica controlada (sistemas VMC). Esta opción es mucho más agresiva, ya que implica actuar en todos los falsos techos de la vivienda para poder realizar el paso de los conductos de admisión y extracción hasta cada una de las estancias y la disposición de conductos verticales para la extracción en cubierta y conductos horizontales o verticales para la admisión de aire del exterior.

Si se pretende mejorar el comportamiento energético del sistema de ventilación, esta actuación siempre va a llevar implícito una mejora de la calidad del ambiente interior. Como ya se ha indicado anteriormente, cuando se rehabilita energéticamente una edificación mejorando su envolvente o sus equipos, una de las pocas demandas energéticas que no se reducen es la producida por la necesidad de ventilación de las viviendas.

En estas situaciones se puede actuar en varios niveles. Si se tratase de una rehabilitación integral de una edificación residencial completa, se puede optar por sistemas VMC dotados de recuperadores de calor. Es decir, se podría dotar a la edificación de conductos generales de admisión y extracción con salida a cubierta (el de extracción obligatoriamente) o a fachada (la admisión puede ser desde cubierta o desde fachada), que pueden alimentar a recuperadores de calor estáticos que a través de una red de doble conducto proporcionan la adecuada ventilación a cada una de las viviendas. Esta solución reduce el número de conductos verticales que deben discurrir hacia la cubierta del edificio, al poder utilizar conductos generales para suministrar a varias viviendas. Además, los ruidos generados por los ventiladores (de extracción y de admisión) pueden reducirse al ubicarse estas maquinarias en la cubierta de la edificación (ver Figura 75).

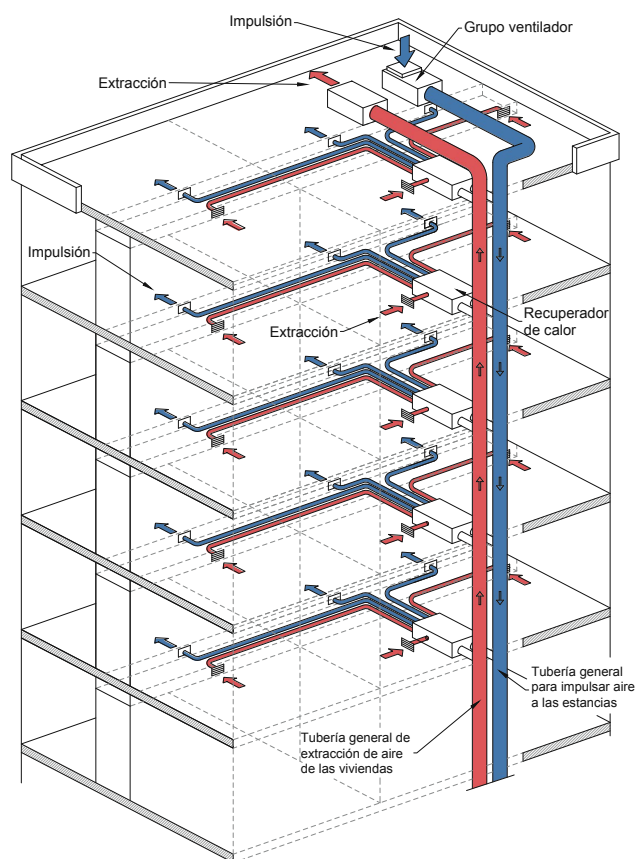


Figura 75. Sistema de ventilación mecánica controlada con recuperadores de calor estáticos en edificación plurifamiliar.

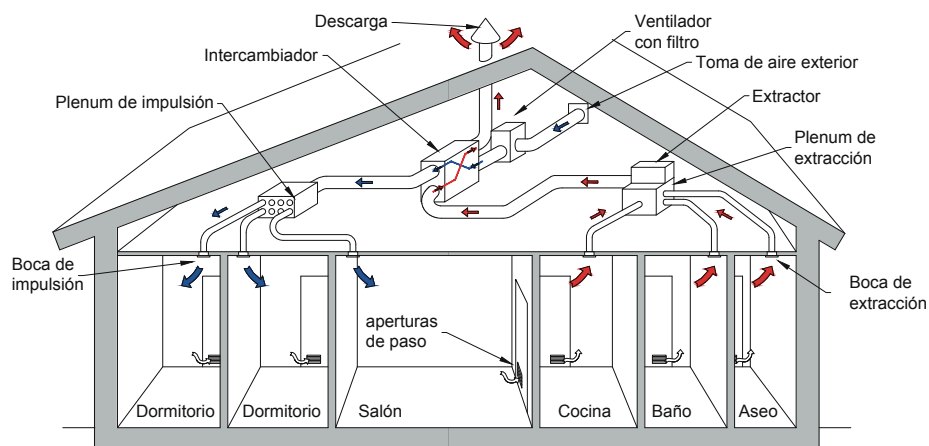


Figura 76. Sistema de ventilación mecánica controlada con recuperador de calor en vivienda unifamiliar.

En edificación unifamiliar (ver Figura 76), este tipo de soluciones también son factibles, pero al igual que ocurre en el caso de edificación plurifamiliar, la aplicación de un sistema u otro va a depender de los requisitos que se quieran cumplir y el alcance de la intervención de rehabilitación a realizar.

Si la rehabilitación a realizar en una vivienda unifamiliar o en una vivienda individual no implica intervenciones que faciliten la colocación de las redes de conductos para efectuar una ventilación mecánica controlada, y por tanto la posibilidad de colocar un sistema de recuperación de calor para mejorar la eficiencia energética, se puede optar por sistemas denominados “descentralizados”, que constan de pequeños recuperadores de calor (Figura 77) que van incorporados en conductos que atraviesan los cerramientos exteriores y se colocan de forma individualizada en cada una de las estancias mejorando la ventilación y asegurando una recuperación de energía que en algunos casos puede llegar a estar alrededor del 80%.

Incluso existen casas comerciales donde estos pequeños elementos se pueden sincronizar entre ellos, actuando de forma combinada, unos como admisión y otros como extracción, realizando ciclos de funcionamiento alternativo en base a la información de sensores de temperatura y humedad que regulan los caudales tanto de admisión como de extracción.

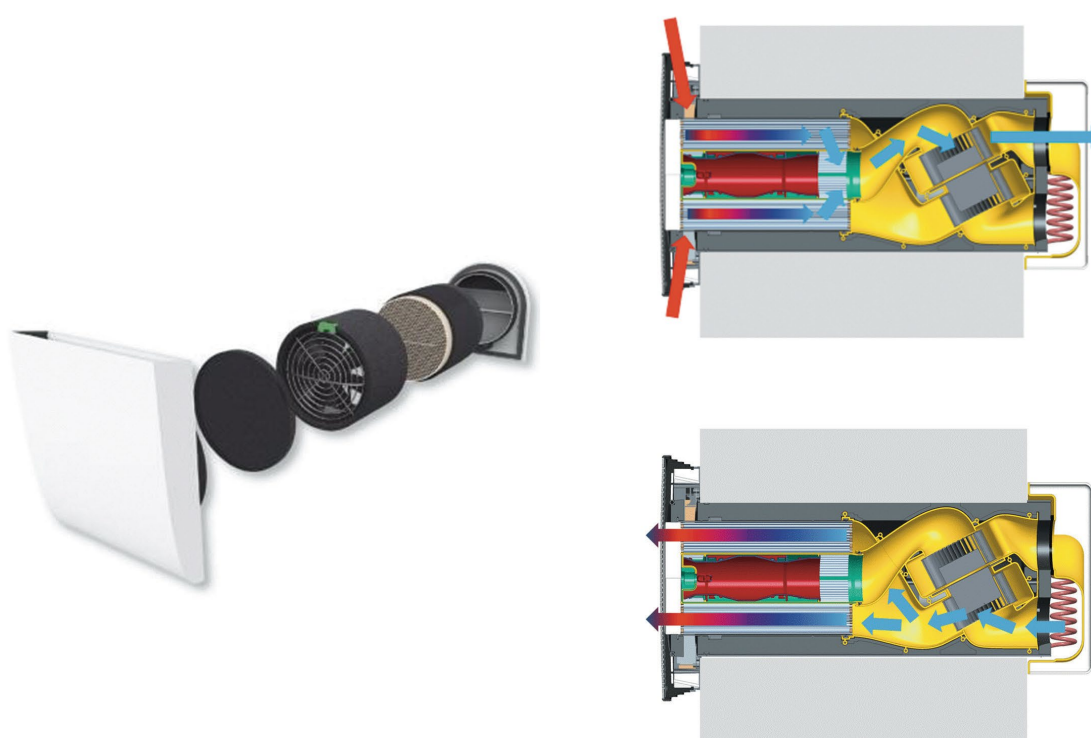


Figura 77. Sistemas de recuperador de calor descentralizados o pequeños recuperadores de calor. Fuente: Soler&Palau (izquierda) y Siber (derecha).

8.1 PRINCIPIOS BÁSICOS DE LAS INSTALACIONES DE CALEFACCIÓN CONVENCIONAL

Para una adecuada intervención en una instalación de calefacción existente es necesario conocer previamente sus principios y esquemas de funcionamiento, para así poder comprender correctamente cómo esta instalación combate las cargas térmicas consecuencia de la demanda de calefacción de la edificación.

Las instalaciones de calefacción convencional son sistemas con una producción de calor (normalmente una caldera) que transfiere calor a un fluido caloportador, el agua, que, posteriormente a través de un sistema de tuberías, se llevará hacia elementos emisores (radiadores y/o suelo radiante) que intercambiarán esa energía con el ambiente a calefactar.

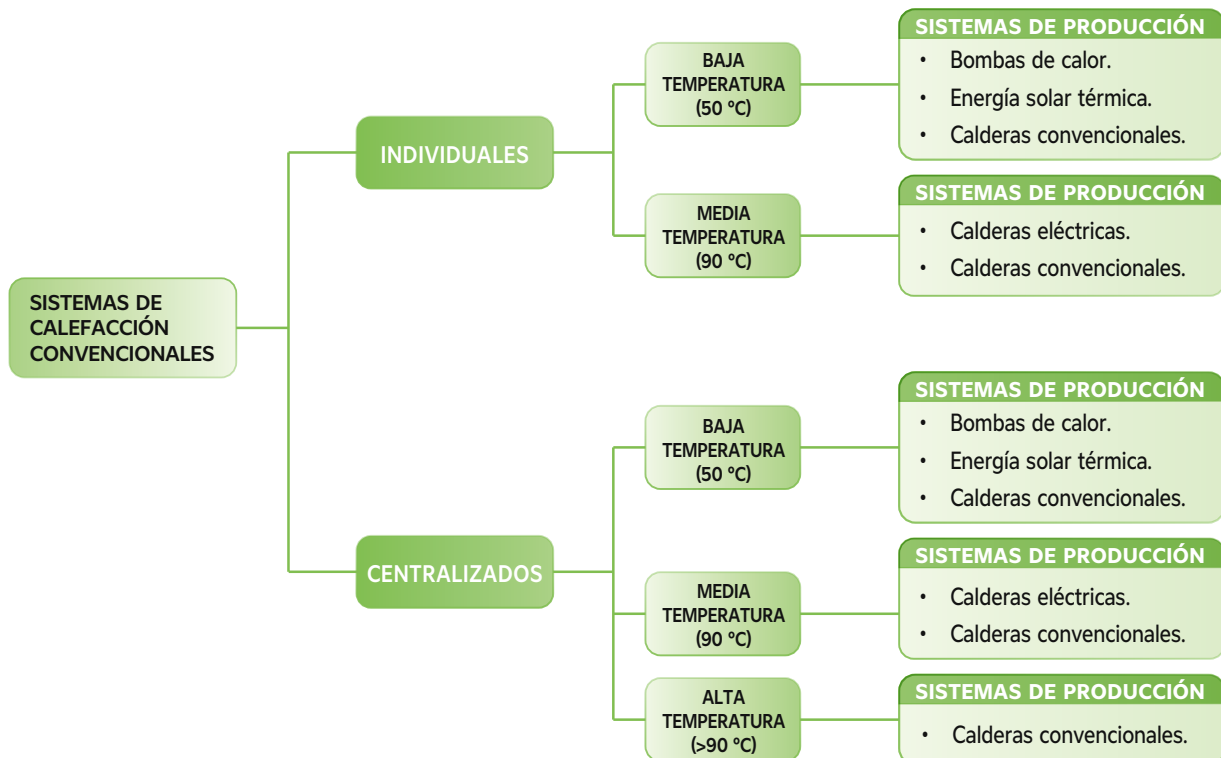


Figura 78. Esquema clasificación sistemas de calefacción convencional

Según el grado de concentración y la temperatura del fluido caloportador, una primera clasificación de los sistemas de calefacción (Figura 78) sería:

- Instalaciones individuales:** Son las que utilizan agua caliente a baja (35-55 °C) y media (70-90 °C) temperatura. La generación de calor puede producirse a través de bomba de calor, energía solar, electricidad o caldera de combustible convencional, normalmente mural. Éstas dan servicio sólo a un usuario (una vivienda).
- Instalaciones centralizadas:** Utilizan agua caliente a baja, media y alta temperatura y en muy pocas ocasiones vapor de agua. La generación de calor se realiza normalmente en calderas eléctricas o convencionales; mientras que para alta temperatura se emplean usualmente calderas convencionales, generalmente de combustibles líquidos. Siendo la temperatura de salida del agua del generador del orden de 90 °C, para las de media temperatura y de 130 °C, para las de alta temperatura.

A este grupo pertenecen los sistemas que dan servicio a toda una comunidad, por ejemplo, un bloque o edificio de viviendas con varios usuarios.

En este tipo de instalaciones, y según la normativa actual, es obligatorio el uso de contadores divisionarios de energía para que a cada usuario le permita el reparto de los gastos correspondientes al servicio.

Asimismo, se debe de realizar un análisis del funcionamiento de la instalación, para poder determinar si esta proporciona un adecuado confort al usuario, es decir, si la instalación no solamente cubre las cargas térmicas existentes, sino que la forma de realizarla es la adecuada para proporcionar un adecuado confort térmico a los ocupantes del edificio.

El Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificación, RITE (Real Decreto 1027/2007 modificado con RD 174/2021), es la normativa que establece las siguientes condiciones operativas de diseño para conseguir un adecuado confort térmico en las edificaciones (Tabla 12).

Tabla 12. Condiciones interiores de diseño. Tabla 14.11. del RITE.

Estación	Temperatura operativa °C	Humedad relativa %
Verano	23 a 25	45 a 60
Invierno	21 a 23	40 a 50

Para las instalaciones de calefacción, el mencionado RITE, indica en su Instrucción Técnica IT 12.4.1.2.1 apartado 4 lo siguiente:

“El control del sistema se basará en sonda exterior de compensación de temperatura o termostato modulante, de forma que modifique la temperatura de ida a emisores adaptándolos a la demanda”

Con este párrafo, el RITE, establece la necesidad de contar con una sonda exterior de temperatura, para poder, mediante un termostato interior modular adecuadamente la temperatura de los emisores y así poder conseguir unas adecuadas condiciones de diseño interior. Por tanto, es necesario introducir en la instalación dos elementos, por un lado, una sonda exterior y, por otro lado, un termostato interior. La inexistencia de estos elementos puede significar el incorrecto funcionamiento de la instalación con respecto a la adecuada consecución de las condiciones de confort interior en el edificio.

Si en la inspección previa de la instalación, estos dos elementos no existen, la rehabilitación de esta pasará por su montaje en la instalación que se vaya a actualizar.

La ubicación de la sonda exterior es crucial, ya que, en muchas ocasiones, la incorrecta colocación de esta hace que no se puedan determinar adecuadamente las condiciones ambientales exteriores y en ese caso el sistema no podrá evaluar correctamente el nivel de cargas que tiene que vencer. Si se coloca en zonas soleadas, se le aportará un nivel de energía que falseará las condiciones de temperatura exteriores, haciendo que la instalación no envíe la suficiente energía a los elementos terminales de la instalación y por tanto no se llegará a la temperatura interior de diseño de la instalación. Se debe de colocar en zonas sombreadas y bien ventiladas, para que la temperatura captada sea representativa de la temperatura exterior existente en cada momento del funcionamiento de la instalación. Hay que tener en cuenta, que la mayoría de las calderas y/o sistemas de producción de agua caliente para calefacción actuales, llevan sistemas y/o configuraciones que pueden “corregir” la temperatura captada por las sondas exteriores calibrándolas para ajustarla a la medida real con otros sensores utilizados durante la puesta en marcha de la instalación.

Para las sondas internas, también conocidas como termostatos, también se debe tener en cuenta las mismas consideraciones referidas anteriormente. Una inadecuada colocación de los termostatos puede hacer que la temperatura interior de la estancia o del edificio no se acerque adecuadamente a los parámetros que definen el confort térmico. Como muestra, un termostato general colocado en una estancia con mucha carga térmica hará que la instalación llegue a temperaturas muy altas en estancias con menores cargas térmicas, provocando incomodidad en sus usuarios. Lo mismo ocurrirá en situaciones contrarias, ya que un termostato colocado en una zona o estancia con poca demanda, cuando se llegue a la temperatura de consigna del termostato, parará la instalación y podrá no llegarse a una temperatura adecuada en estancias con mayor demanda.

Los termostatos deberán colocarse en las zonas con demandas medias, y si se dispone de distribuciones o disposiciones de los edificios donde las cargas térmicas a combatir son muy dispares, lo ideal es zonificar la instalación para la colocación de diversos termostatos que regulen cada una de las zonas y por lo tanto se puedan conseguir las mismas condiciones de diseño interior, independientemente de la carga térmica que se demande en cada una de las zonas.

8.2 PARTES DE LAS INSTALACIONES DE CALEFACCIÓN CONVENCIONAL

Para poder comprender mejor el funcionamiento de una instalación de calefacción convencional y poder describir cada una de sus partes y las posibles mejoras que se pueden efectuar en ellas, se debe de conocer su composición.

En la Figura 79 se puede observar un esquema de principio simplificado de una instalación individual, y en la Figura 80 de una instalación centralizada, donde quedan reflejadas sus partes principales:

- Calderas y quemadores, donde se cede la energía al fluido caloportador.
- El sistema de distribución del fluido caloportador, que configuran las tuberías que transportan el agua (con varios tipos de distribución) tanto de ida como de retorno.

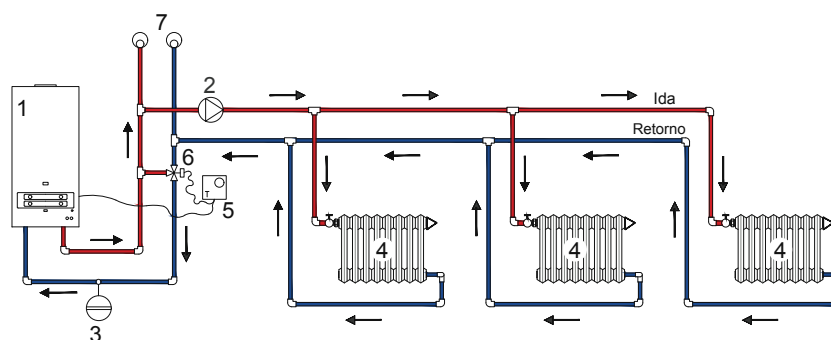


Figura 79. Elementos básicos de una instalación individual.

- Los emisores térmicos (ya sean radiadores o suelos radiantes) para el intercambio energético con el ambiente.
- Los elementos auxiliares de la instalación, como bombas recirculadores, válvulas de recirculación de tres vías, depósitos de expansión (todos estos elementos van normalmente dentro de la caldera en las instalaciones individuales) y por último los elementos de regulación que configuran los termostatos y las sondas exteriores.

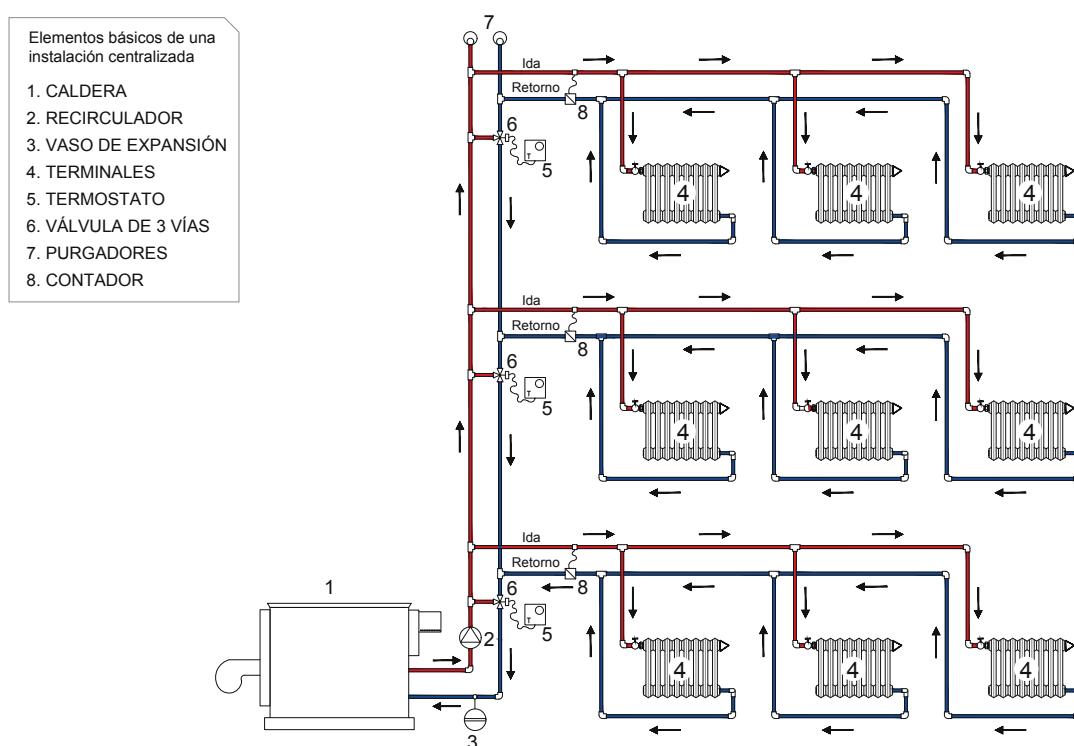


Figura 80. Elementos básicos de instalación centralizada.

8.2.1 TIPOS DE TRAZADO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DEL FLUIDO CALOPORTADOR

La red de tuberías que distribuye el fluido caloportador (normalmente agua) desde el sistema de producción hasta los elementos emisores, puede tener distintos tipos de trazado. Los más frecuentes son los siguientes.

- a) **Retorno directo:** en este tipo de instalación (Figura 81) la longitud de tubería de ida y retorno, a cada radiador es sensiblemente igual, siendo los recorridos de tubería de un radiador con respecto a otro, muy distintos, con lo que, para un mismo diámetro de tubería, las pérdidas de carga serán tanto mayores cuanto más alejado de la caldera se encuentre el radiador, siendo el primero de ellos el que recibirá mayor cantidad de agua y a mayor temperatura que el siguiente, y así sucesivamente, dando como resultado una desigualdad importante en las emisiones caloríficas.

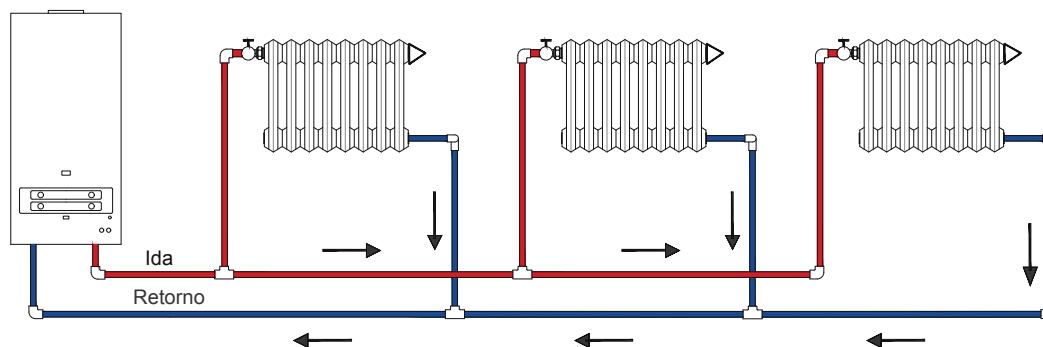


Figura 81. Esquema de una red de distribución con retorno directo.

- b) **Retorno invertido:** Para evitar en lo posible, las desigualdades anteriormente citadas, se utiliza el denominado retorno invertido (Figura 82), consiguiéndose que el recorrido del agua, para cada uno de los aparatos calefactores, sea aproximadamente el mismo, igualándose los recorridos del circuito de ida con los del circuito de retorno, de tal manera que las pérdidas de carga se igualan, con lo que los radiadores reciben caudales de agua semejantes equilibrándose las aportaciones caloríficas a los mismos.

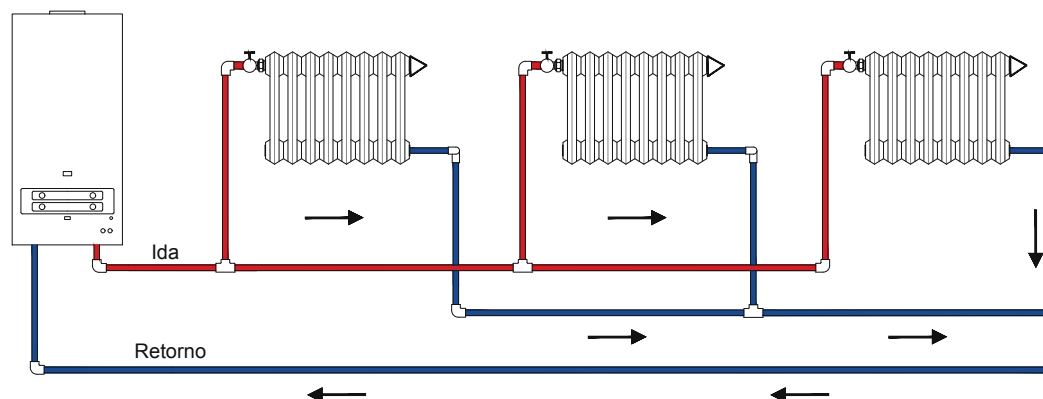


Figura 82. Esquema de una red de distribución con retorno invertido.

- c) **Sistema monotubo.** Como su propio nombre indica, este sistema utiliza un solo tubo, que actúa tanto de circuito de ida como de circuito de retorno (Figura 83), estando situados los emisores de calor en serie, con lo que la salida o retorno de uno cualquiera de ellos alimenta al aparato calefactor siguiente. El sistema precisa de válvulas especiales que regulen el paso de agua hacia el calefactor, haciendo que una parte, variable, pase a éste y desviando el resto del caudal, junto al retorno del calefactor hacia el cuerpo emisor siguiente.

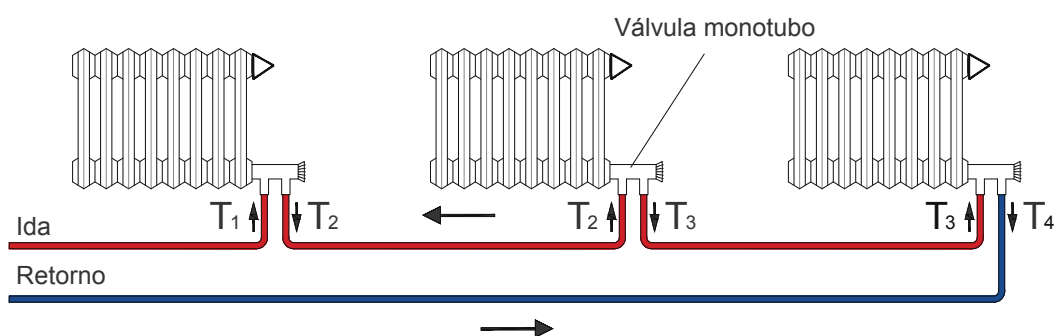


Figura 83. Esquema de una red de distribución monotubo.

- d) **Sistema por colectores.** Es un sistema de distribución originario de los suelos radiantes, donde a partir de un conjunto de colectores (uno de ida y otro de retorno), se distribuye de forma individualizada a cada uno de los emisores (Figura 84). Esta instalación tiene la posibilidad de sectorizar zonas de la instalación de calefacción e incluso permite su control más preciso a través de la colocación de electroválvulas que respondan a las órdenes de termostatos individualizados para cada una de las zonas o estancias.

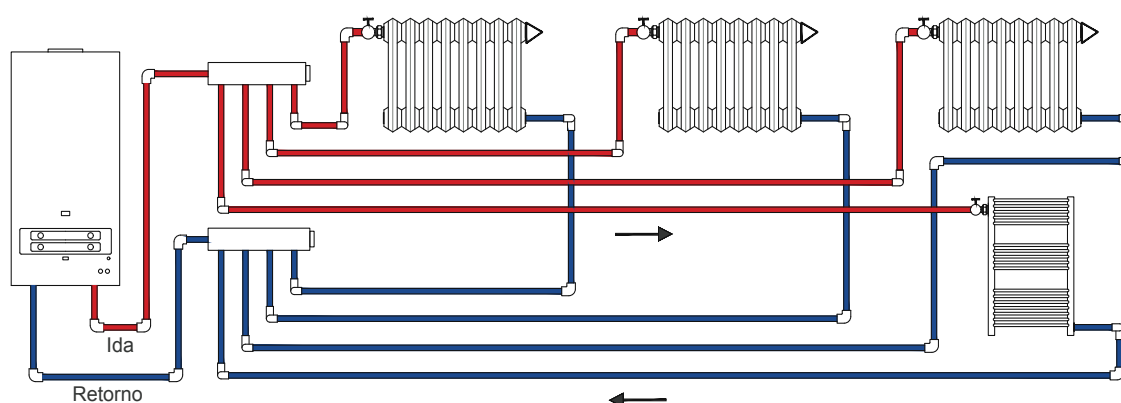


Figura 84. Esquema de una red de distribución por colectores.

8.2.2 TIPOS DE CALDERAS

Existen diferentes formas de clasificar a las calderas, dependiendo del tipo de parámetros que sean considerados, desde el tipo de combustible que necesita, a su colocación o rendimiento energético.

- a) Según el combustible empleado.
 - Calderas para combustibles sólidos (carbón, leña, etc).
 - Calderas para combustibles líquidos (gasóleo, fuel).
 - Calderas de gas.
 - Calderas eléctricas (en desuso por su alto consumo energético).
- b) Según su colocación.
 - Calderas de pie. Si se colocan apoyadas sobre el suelo del local.
 - Calderas murales. Cuando van colocadas sobre una pared.

c) Según su rendimiento (basado en Real Decreto 275/1995).

- Caldera estándar, definida como "la caldera cuya temperatura media de funcionamiento puede limitarse a partir de su diseño", son calderas "tradicionales" que deben funcionar con temperaturas del agua de retorno suficientemente altas.
- Caldera de baja temperatura: "una caldera que puede funcionar continuamente con una temperatura de agua de alimentación de 35 a 40 °C".
- Calderas de gas de condensación: "una caldera diseñada para poder condensar de forma permanente una parte importante de los vapores de agua contenidos en los gases de combustión".

Las calderas de baja temperatura y de condensación son denominadas calderas de alto rendimiento.

Cuando por las circunstancias analizadas de las instalaciones existentes, se vea necesario un cambio en el sistema de producción de calor, se puede optar por dos posibilidades, una sería la conservación de la naturaleza del combustible como, por ejemplo, conservando la alimentación del sistema con algún tipo de combustible gaseoso o, por el contrario, cambiar totalmente el sistema de producción, cambiando también el tipo de combustible que lo alimenta.

8.2.3 ELEMENTOS EMISORES. DISPOSICIÓN Y CARACTERÍSTICAS

Los elementos emisores más frecuentes en las instalaciones de calefacción a rehabilitar son los radiadores, y son los encargados de realizar el intercambio térmico entre el fluido caloportador y el ambiente.

Este intercambio térmico se realiza fundamentalmente por convección y por radiación, en mayor o menor porcentaje en función del tipo y forma del emisor considerado. En el caso de radiadores, a pesar de su denominación, la transmisión fundamental es por convección y en menor porcentaje por radiación.

Los radiadores se pueden clasificar en función del material en que están constituidos (de fundición, de chapa de acero o de aluminio) y en función de su construcción (por elementos o por paneles).

Los radiadores de fundición, al tener una pared más gruesa y ser de un material de mayor densidad poseen una elevada inercia térmica, siendo necesario, en la mayoría de los casos, un mayor tiempo de funcionamiento para poder apreciar su funcionamiento. Al contrario ocurre con los radiadores de aluminio que, con una baja inercia térmica, alcanzan la temperatura de régimen más rápidamente.

En función de la composición de los radiadores, el componente de radiación o convección del intercambio térmico puede variar sustancialmente, ya que en aquellos radiadores configurados por elementos huecos y con aletas, esta constitución favorece el paso del aire entre estos componentes, calentándose y favoreciendo la creación de pequeñas corrientes de aire que distribuyen la temperatura por toda la estancia. Sin embargo, los radiadores configurados con elementos planos, su transmisión de calor por radiación suele ser mayor, aunque la convección también puede producirse cuando circula el aire entre el propio radiador y la pared sobre la que está instalado.

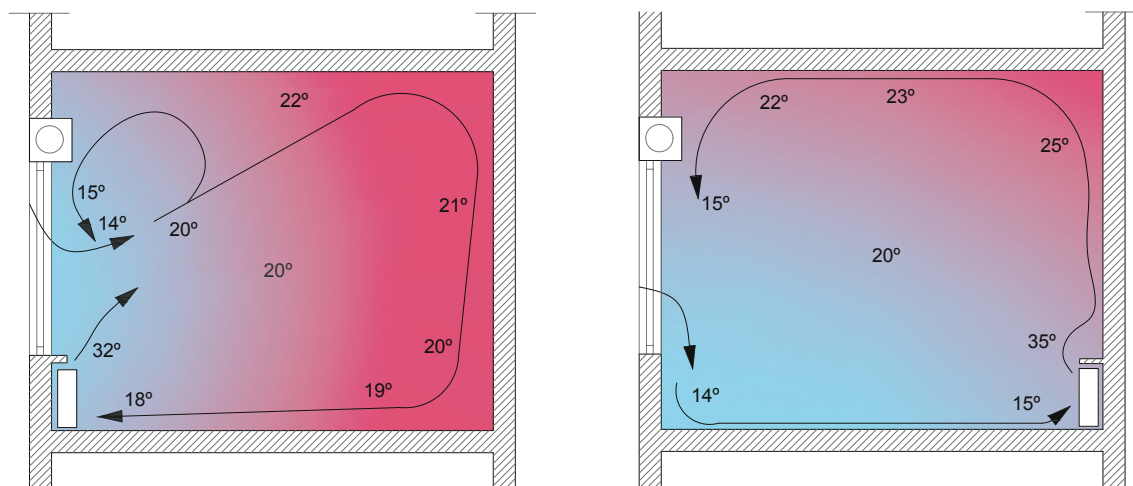


Figura 85. Esquema distribución de temperaturas en función de la situación del radiador (izquierda pared exterior, derecha pared interior).

El factor más importante que hay que tener en cuenta para conseguir el mejor funcionamiento de los emisores es su correcta colocación dentro de las estancias. Las corrientes de convección calientes que salen del radiador se mezclan con las de aire frío procedentes de paredes y ventanas, dando lugar a las corrientes que se representan en la Figura 85, según su situación dentro de la habitación a calefactar.

Se puede observar cómo lo correcto es situar el radiador en la pared fría y no enfrente de ella, de esta forma la temperatura a nivel del suelo (más delicada para el confort) será más templada.

En el caso de estancias de mucha superficie, siempre conviene distribuir la colocación de los radiadores en las paredes más frías de esta, intentando evitar la concentración de emisión de energía en un solo punto de la estancia, consiguiendo así una temperatura de la sala más homogénea y que proporciona una mejor sensación térmica al usuario.

Por tanto, la colocación de los radiadores en la pared fría, minimiza los fenómenos de gradientes térmicos dentro de las estancias y que estos causen incomodidad en los usuarios. Siguiendo con este concepto y dado que la convección en los radiadores suele ser del orden del 80% del intercambio energético, es muy importante que estas corrientes no queden obstaculizadas por cubrerradiadores, cortinas u otros obstáculos, ya que estos disminuirán y/o dificultarán el intercambio energético con el ambiente interior (Figura 86).

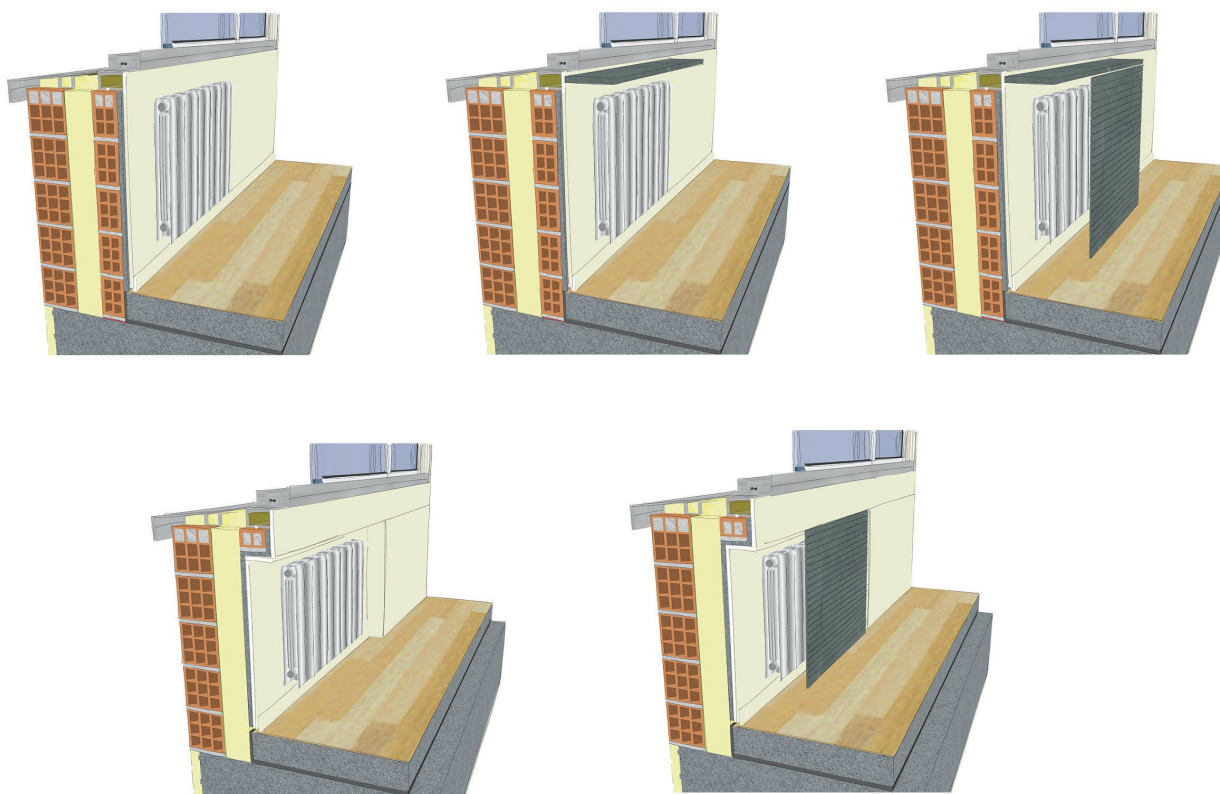


Figura 86. Reducción de la emisión de calor de los radiadores en función de su colocación.

8.3 CARGAS A CONSIDERAR EN EL DISEÑO Y REHABILITACIÓN DE LAS INSTALACIONES DE CALEFACCIÓN

Cuando se va a rehabilitar la instalación de calefacción de una edificación, lo primero que se tiene que considerar es si esta instalación cubre adecuadamente las cargas para las que se diseñó. Para ello, hay que estudiar si la instalación objeto de rehabilitación está infradimensionada o sobredimensionada, tanto desde el punto de vista del generador como de los emisores.

Si la instalación está sobredimensionada, que sería el caso más usual, habría que prever la colocación de equipos de menor potencia (que darán lugar a un menor consumo). Si a esto, se añade una posible rehabilitación energética de la envolvente de la edificación y por tanto una reducción considerable de la demanda energética, el nuevo equipo a instalar debería de ser de una potencia muy inferior al existente.

En caso de estar la instalación infradimensionada, habría que volver a dimensionar la instalación de calefacción considerando adecuadamente el nuevo estado de cargas térmicas (sobre todo si se va a reducir la demanda energética), ya que, en algunas ocasiones, estos equipos que inicialmente podrían tener potencias insuficientes, con la reducción de la demanda, las potencias de estos equipos pudieran ser suficientes.

En toda instalación de calefacción, la previsión de potencia del sistema de producción de calor debe de adecuarse para contrarrestar las pérdidas que se producen fundamentalmente por infiltración de aire y por transmisión de calor. Junto a estas pérdidas se suelen producir ganancias térmicas por los ocupantes, por los sistemas de iluminación o por la presencia de otras fuentes calóricas diversas en función del uso de los espacios como se puede ver en la Figura 87.

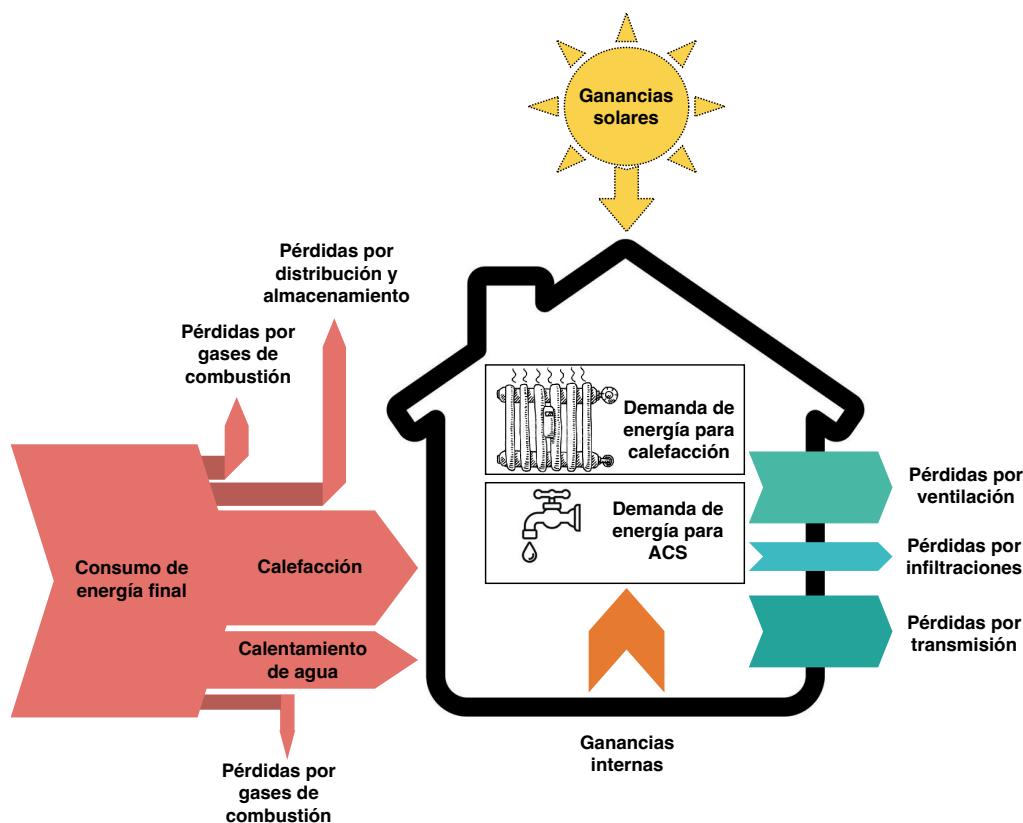


Figura 87. Pérdidas y ganancias en las instalaciones de calefacción.

En el dimensionado de una instalación de calefacción en vivienda, no se suele considerar el efecto de las ganancias térmicas, salvo que existan circunstancias que nos aseguren la permanente presencia de estas ganancias (como en algunos usos industriales y/o terciarios que no se contemplan en el uso residencial). Por tanto, las cargas térmicas por considerar en una instalación de calefacción son:

- a) **Pérdidas por infiltración de aire.** En esta clasificación se debe tener en cuenta dos vertientes. Una estaría compuesta por las pérdidas energéticas surgidas de la necesidad de ventilar adecuadamente nuestras edificaciones (en función de lo indicado en el DB-HS 3) y, por otro lado, las pérdidas producidas por las infiltraciones de aire incontroladas a través de huecos y cerramientos opacos de los inmuebles.

Las primeras son casi inevitables salvo que se instalen recuperadores de calor en los sistemas de ventilación (ver capítulo 7), mientras que las segundas, se puede aprovechar la rehabilitación de la envolvente para colocar ventanas más estancas adecuadamente instaladas e incluso realizar ensayos tipo "Blower Door" test para localizar los puntos de entrada de aire y poder sellarlos adecuadamente.

- b) **Pérdidas por transmisión** de calor a través de los cerramientos de la envolvente térmica, que obviamente, y como ya se ha indicado en capítulos anteriores, van a depender del área de estos cerramientos, de la transmitancia térmica de los mismos (U) y de las condiciones térmicas interiores y exteriores (salto térmico).

Hay que tener en cuenta que las pérdidas por transmisión a través de cerramientos en contacto con espacios no habitables pueden ser mayores o menores en función de las condiciones de esos espacios no habitables, como la ventilación, el área expuesta de estos espacios al exterior y de la existencia de aislamientos en los cerramientos. Como ya se ha mencionado, estos espacios pueden utilizarse como elementos “amortiguadores” de las pérdidas energéticas.

Por último, en este tipo de pérdidas energéticas también se deben de considerar aquellas que se producen entre las distintas unidades de uso (entre viviendas o entre viviendas y espacios comunes, entre otros).

Como se puede observar, estas cargas térmicas, si se rehabilita la envolvente térmica disminuyendo sus transmitancias térmicas y mejorando sus prestaciones de estanqueidad, van a verse reducidas, a veces de forma muy considerable, con lo que las cargas térmicas resultantes disminuirán.

Esto implica la necesidad de utilizar equipos de menor potencia que, junto a un aumento de rendimiento de los equipos nuevos, disminuirá considerablemente el consumo energético y la subsiguiente emisión de CO₂, mejorando no solo la clasificación energética, sino también la percepción en el nivel de confort.

8.4 INCORPORACIÓN O REHABILITACIÓN ENERGÉTICA DE LOS SISTEMAS DE CALEFACCIÓN

Cuando se debe afrontar una rehabilitación energética desde el punto de vista de la mejora de las instalaciones de calefacción, van a surgir dos grandes posibilidades, la no existencia de calefacción o la existencia de esta.

La primera en la que la edificación o vivienda a rehabilitar no existe este tipo de instalaciones, la rehabilitación consistiría en la implantación de este tipo de dotaciones en la construcción objeto de estudio.

Esto implicaría un proceso más estandarizado, que pasaría inicialmente por el dimensionado de todos los elementos que componen la instalación a partir del cálculo de las cargas térmicas a combatir.

Para dimensionar adecuadamente estos elementos, deben de concebirse adecuadamente, es decir, diseñar la instalación y su implantación de la mejor manera posible, teniendo en cuenta el sistema de producción a utilizar, la tipología de red de distribución a ejecutar y el tipo de emisores y su ubicación a distribuir.

Obviamente también pasa por una correcta elección y disposición de los sistemas de control y mando de la instalación, para que esta tenga un funcionamiento que proporcione el máximo confort posible al usuario.

En la segunda de las opciones, con la existencia de esta instalación, lo primero que se debería analizar, tal y como ya se ha mencionado, es la idoneidad de la instalación existente, analizar sus componentes, distribución, situación y mantenimiento para ver si es necesaria una actualización y/o mejora de cualquiera de sus partes.

8.4.1 SUSTITUCIÓN DE LOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE CALOR

En el caso de encontrarnos con sistemas de producción de calor anticuados, con antigüedades superiores a los 10-15 años, suele ser conveniente estudiar el cambio de la máquina ya que, en muchas ocasiones, las calderas u otros equipos actuales suelen tener rendimientos mucho mejores que los existentes, pudiendo llegar en algunos casos a mejoras en el rendimiento mayores al 10-20%, lo que supone un importante ahorro tanto en combustible como en emisiones de CO₂.

Si ya se tiene claro la necesidad de cambiar el equipo de producción de calor, el segundo paso es evaluar el tipo de equipo más conveniente tanto desde el punto de vista del rendimiento energético, la disponibilidad de acceso al tipo de combustible, costes de implantación y mantenimiento, y por último, la ubicación del equipo.

Si el equipo preexistente tiene como fuente de combustible algún tipo de gas (natural o GLP) y se está en un clima de inviernos fríos, suele ser interesante la conservación de la tipología existente y cambiar la vieja caldera por otra nueva con mejor rendimiento, para ello se debe optar por calderas de condensación con rendimientos superiores al 100% sobre el PCI.³¹ Si la caldera existente fuera de combustibles líquidos (normalmente gasoil de calefacción) o sólidos (carbón), el cambio por otra caldera de combustibles gaseosos incluso puede presentar una mejor opción, ya que además de aumentar el rendimiento, las emisiones de CO₂ disminuyen considerablemente.

En este sentido, hay que considerar que las normativas actuales que regulan los rendimientos de los equipos hacen inviable la utilización de algunos tipos de quemadores y/o sistemas en las instalaciones actuales. Equipos como las calderas

³¹ PCI: Poder Calorífico Inferior: Cantidad de calor que se puede extraer de la combustión completa de una unidad de masa de combustible sin contar la parte correspondiente al calor latente del vapor de agua generado con la combustión del mismo.

atmosféricas que por su escaso rendimiento y el riesgo de contaminación del ambiente interior que poseen, hacen que su instalación esté totalmente prohibida.

En el caso de optar por una caldera de pellets o de combustibles similares, la evaluación de la idoneidad de esta será la posibilidad de acceso a dicho combustible y la disponibilidad de espacio para su colocación, ya que normalmente estos sistemas, al requerir un sistema de alimentación, ocupan alrededor de 1 m³ de espacio aproximadamente, en función del tiempo de autonomía que se le pretenda dar a la instalación. También hay que considerar el precio del combustible, ya que, en zonas de poca producción maderera, el transporte de este material encarece su precio, haciendo que la instalación sea menos rentable.

En áreas con inviernos menos fríos o cuando el acceso a combustibles fósiles es complejo, se puede considerar el uso de sistemas de aerotermia (consultar apartado siguiente). Estos sistemas utilizan bombas de calor aire-agua con altos rendimientos para proporcionar agua caliente de manera eficiente. Es importante tener en cuenta que estos sistemas funcionan mejor a bajas temperaturas, por lo que en algunos casos puede ser necesario hacer modificaciones en los emisores de calor para que la instalación sea rentable. Si además se cuenta con un sistema de energía solar fotovoltaica, los sistemas de aerotermia pueden ser aún más eficientes, ya que una parte significativa de su consumo energético puede ser suplida por una fuente renovable.

8.4.1.1 Rehabilitación de sistemas de calefacción mediante bombas de calor de alta eficiencia

Estos sistemas aprovechan los avances tecnológicos en el área de la climatización para la generación de agua caliente (tanto para calefacción como para ACS) y así poder sustituir o complementar a las calderas tradicionales en este tipo de instalaciones.

La composición de una bomba de calor es la misma que la de un sistema de aire acondicionado convencional compuesto por una máquina frigorífica de compresión mecánica compuesta por un condensador, evaporador, compresor y el elemento de expansión (ver capítulo 9).

- **Ciclo de funcionamiento de la bomba de calor.**

El ciclo de funcionamiento de una bomba de calor es un procedimiento para conseguir energía térmica, absorbiendo el calor del exterior para disiparlo en el ambiente interior. Proceso inverso a la producción de frío de la máquina frigorífica, añadiéndole una válvula inversora en el flujo refrigerante.

Así pues, la bomba de calor puede ser un sistema reversible de calefacción en invierno y refrigeración en verano. La Figura 88 muestra una bomba de calor funcionando en condiciones típicas de invierno. El aire exterior a una temperatura que podría ser de 8 °C atraviesa el evaporador, se enfría y se expulsa a una temperatura más baja, por ejemplo, a 2 °C.

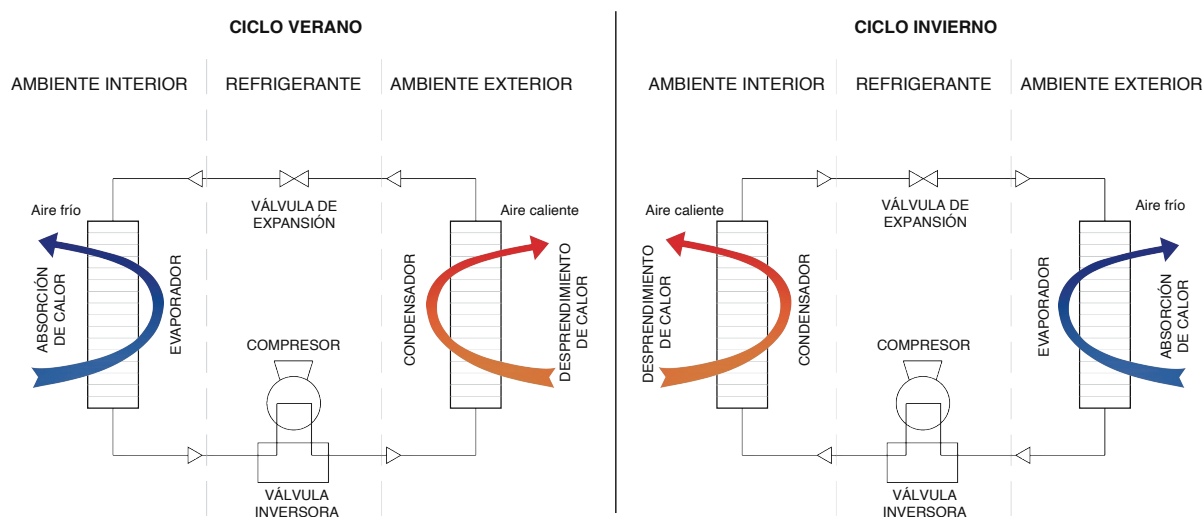


Figura 88. Ciclos de la bomba de calor.

Por su parte, el condensador aspira el aire del local (por ejemplo, a 18 °C) y lo retorna al mismo una vez calentado (por ejemplo, a 32 °C). De esta manera el recinto se mantendrá a la temperatura requerida de 20 °C.

Desde el punto de vista técnico, la diferencia entre el equipo de refrigeración y la bomba de calor es una electroválvula inversora de cuatro vías, que se coloca entre el compresor y sus conexiones con el condensador y el evaporador que hace invertir el sentido del desplazamiento del refrigerante en un sentido para el verano y en el opuesto para invierno, como se muestra en el esquema anterior.

Para explicar el funcionamiento del ciclo en modo bomba de calor, se expone a continuación la Tabla 13 con todos los pasos que completa este circuito cerrado.

Tabla 13. Cuadro sinóptico del ciclo frigorífico en modo Bomba de Calor.

Componentes	Fases		Proceso	Observaciones
	Entrada	Salida		
Evaporador	Refrigerante en estado prácticamente líquido. Baja temperatura. Baja presión.	Refrigerante en estado gaseoso. Baja temperatura. Baja presión.	El aire exterior de entrada al evaporador se enfría y se expulsa de nuevo al exterior. El aire exterior cede su temperatura al refrigerante.	Se precisa un ventilador que aspire el aire del exterior, lo pase a través de éste y lo expulse de nuevo más frío al exterior. Aquí se produce el efecto útil de absorber el calor del aire exterior.
Compresor	Refrigerante en estado gaseoso. Baja temperatura. Baja presión.	Refrigerante en estado gaseoso. Alta temperatura. Alta presión.	El compresor comprime el gas, disminuyendo su volumen y aumentando la presión y temperatura del gas.	El compresor requiere un motor eléctrico que consume energía de la red. El gas refrigerante transporta la carga térmica del aire exterior y la energía que se comunica al compresor.
Condensador.	Refrigerante en estado gaseoso. Alta temperatura. Alta presión.	Refrigerante en estado líquido. Alta temperatura. Alta presión.	El aire de retorno del local al condensador se calienta al pasar por éste. El refrigerante se licúa. El refrigerante cede al aire del condensador toda su energía, la que absorbió en el evaporador (la carga térmica del exterior) más la comunicada por el compresor.	Se precisa un ventilador que aspire el aire del local, lo haga circular a través del condensador y lo lance de nuevo al local. Hay que evitar la recirculación de este aire.
Dispositivo de Expansión	Refrigerante en estado líquido. Alta temperatura. Alta presión.	Refrigerante en estado líquido. Baja temperatura. Baja presión.	El dispositivo de expansión hace pasar al refrigerante desde una presión alta a una baja. Reduce su temperatura.	Sirve para alimentar el evaporador de fluido refrigerante.

- **Bomba de calor como fuente de energía renovable.**

Estos aparatos son capaces de extraer energía de una fuente renovable (agua, tierra o aire) y cederla al fluido caloportador de forma que pueda utilizarse en sistemas convencionales. Tal y como se puede ver en la Figura 89, los sistemas de compresión mecánica son capaces (con la ayuda de un fluido refrigerante) de extraer energía del elemento utilizado para el intercambio energético con el evaporador y cederla en el condensador al fluido caloportador que se transportará posteriormente a los elementos emisores utilizados en los sistemas de calefacción convencional.

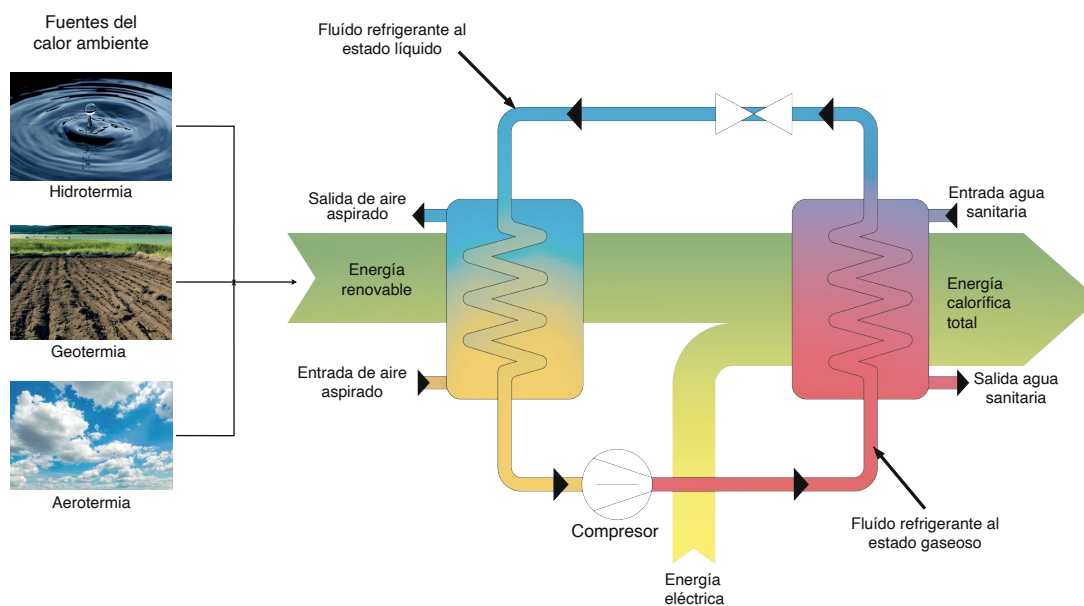


Figura 89. Esquema de funcionamiento de una bomba de calor.

Cuando la fuente de energía renovable utilizada es el aire, se denomina a este tipo de bombas de calor, *aerotermia*. En estos casos, la bomba de calor extrae energía almacenada en forma de calor del ambiente exterior a través del evaporador y con ayuda del compresor y del líquido refrigerante lo transfiere en el condensador al fluido caloportador utilizado en el sistema de calefacción, cumpliéndose con la siguiente ecuación:

$$Q_{CON} = Q_{EVAP} + W_{COMP.} \quad (10)$$

Siendo:

Q_{CON} = calor suministrado por el condensador al sistema (W)

Q_{EVAP} = calor extraído del ambiente (renovable) (W)

W_{COMP} = trabajo proporcionado por el compresor con consumo eléctrico (W)

Para que en una instalación con bomba de calor (accionada eléctricamente), se pueda considerar que se está utilizando como una parte del combustible, una energía renovable, su *Rendimiento Medio Estacional Estimativo (SPF)* debe de situarse por encima de un valor de 2,5, según lo establecido en la *Decisión de la Comisión de 1 de marzo de 2013 por la que se establecen las directrices para el cálculo por los Estados miembros de la energía renovable procedente de las bombas de calor de diferentes tecnologías, conforme a lo dispuesto en el artículo 5 de la Directiva 2009/28/CE del Parlamento Europeo y del Consejo*.

Según la directiva anterior, para cada uno de los climas considerados en la Unión Europea (Figura 90), los valores mínimos de SPF serán los siguientes:

- Climas cálidos: $SPF \geq 2,7$.
- Climas medios: $SPF \geq 2,6$.
- Climas fríos: $SPF \geq 2,5$.

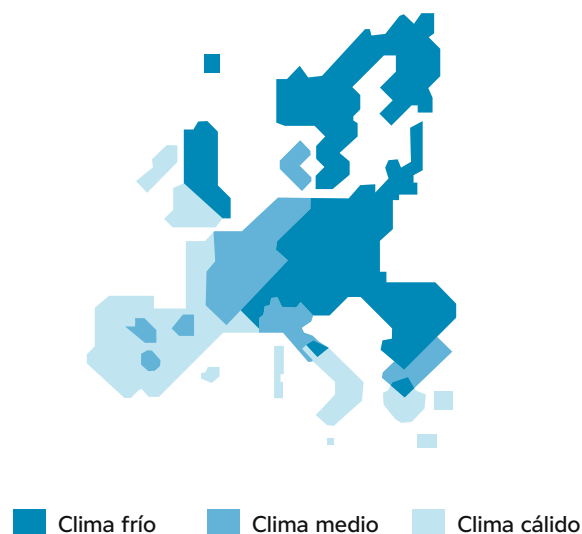


Figura 90. Zonas climáticas establecidas en la figura 2 de la Decisión de la Comisión (2013/114/UE) (Comisión Europea, 2013).

Para poder entender el rendimiento de una bomba de calor aerotérmica, se debe tener presente los siguientes conceptos:

- o El **COP**, o *Coefficient of Performance*, es el coeficiente de funcionamiento. Este valor, proporcionado por el fabricante, indica la eficiencia de los equipos en condiciones ideales de trabajo. Ej.: una bomba de calor con un COP igual a 4 indica que por cada kWh eléctrico consumido por el compresor, se generan 4 kWh de calor.
- o El **SCOP** es el coeficiente global de rendimiento de la unidad, representativo de toda la temporada de calefacción designada (el valor del SCOP corresponde a una temporada de calefacción determinada en función de un tipo de clima), calculado dividiendo la demanda anual de calefacción de referencia por el consumo anual de electricidad para calefacción.
- o El rendimiento de estos equipos varía según las condiciones la diferencia de salto térmico entre el interior y el exterior, de manera que el rendimiento medio estacional **SPF** (o **SCOPnet**) es un valor estimativo referido al coeficiente de rendimiento estacional neto en modo activo. Se calcula conforme a la norma EN 14825:2014 o empleando el método descrito en el documento del IDAE "Prestaciones medias estacionales de las bombas de calor para producción de calor en edificios" (2014).

El concepto de SPF, el rendimiento de una bomba de calor aerotérmica, va a depender mucho de las condiciones ambientales exteriores, por lo tanto, en climas fríos este tipo de instalación debería realizarse de forma que esté lo más protegida de las inclemencias meteorológicas, como por ejemplo en espacios no habitables adecuadamente ventilados y aislados térmicamente para que la temperatura exterior a la que trabaja la bomba de calor sea lo más favorable posible. Hay que tener en cuenta que con temperaturas inferiores a 0 °C hay situaciones donde es necesario un "desescarche" de la unidad exterior del sistema, por lo que esto necesitará la utilización de resistencias eléctricas o de la inversión del ciclo, con lo que el rendimiento de la bomba baja.

Los avances tecnológicos, que están implementando los fabricantes, hacen que el uso de bombas de calor en climas fríos sea cada vez mayor, con la utilización de máquinas con mayores rendimientos, implementación de compresores especiales y utilización de tipos de refrigerantes específicos para las situaciones de baja temperatura. Aun así, la instalación de este tipo de sistemas siempre mejoran con la adecuada colocación de las máquinas en zonas protegidas.

Por otro lado, si se quiere considerar estos sistemas como *aporte de energía renovable* en la producción de ACS, se debe tener en cuenta la consideración establecida en el DB-HE 4 de 2019, donde en su artículo 31 apartado 4 indica lo siguiente:

"Las bombas de calor destinadas a la producción de ACS y/o climatización de piscina, para poder considerar su contribución renovable a efectos de esta sección, deberán disponer de un valor de rendimiento medio estacional (SCOPdhw) igual o superior a 2,5 cuando sean accionadas eléctricamente e igual o superior a 1,15 cuando sean accionadas mediante energía térmica. El valor de SCOPdhw se determinará para la temperatura de preparación del ACS, que no será inferior a 45 °C."

Es necesario resaltar que, en el caso particular de las bombas de calor, conforme se establece la Directiva de Energías Renovables (Reglamento Delegado (UE) 2022/759), no toda la energía generada por ellas puede considerarse como energía renovable. Conforme a lo establecido en el Anejo VII de dicha Directiva, la energía procedente de fuentes renovables (ERES) se calculará de acuerdo con la ecuación.

$$E_{RES} = Q_{usable} \times \left(1 - \frac{1}{SPF}\right) \quad (W) \quad (11)$$

Siendo:

Q_{usable} = calor útil total estimado proporcionado por bombas de calor, con la siguiente restricción: solo se tendrán en cuenta las bombas de calor para las que $SPF > 1,15 \times 1/\eta$.

SPF = factor de rendimiento estacional medio estimativo para dichas bombas de calor.

η = cociente entre la producción total bruta de electricidad y el consumo primario de energía para la producción de electricidad, y se calculará como una media de la Unión basada en datos de Eurostat.

Se realiza un ejemplo de cálculo de porcentaje de energía renovable cubierto por una aerotermia para la producción de ACS, conforme lo indicado en el DB-HE 4 de 2019. Si una vivienda posee una demanda energética para ACS de 2500 kWh y se pretende cubrir con una bomba de calor que dispone de un SPF de 2,5, la energía renovable que aportaría la mencionada bomba de calor sería la siguiente:

$$E_{RES} = Q_{usable} \times \left(1 - \frac{1}{SPF}\right) = 2500 \times \left(1 - \frac{1}{2,5}\right) = 2500 \times (1 - 0,4) = 2500 \times 0,6 = 1500 \text{ kWh}$$

En este caso, la bomba de calor estaría aprovechando un 60% de energía renovable sobre la demanda total de ACS.

Por último, hay que mencionar que hay fabricantes que proponen tecnologías mixtas, donde se combina la utilización de sistemas dotados con bombas de calor aerotérmicas y calderas de condensación de gases combustibles, de forma que en los periodos con temperaturas externas más extremas y un mayor nivel de demanda de calefacción entra en funcionamiento la caldera, mientras que, en periodos más benévolos, se pondría en funcionamiento la bomba de calor. Entre estos dos extremos, podrían entrar los dos sistemas en funcionamiento, combinando las características de ambos logrando el sistema llegar a los máximos valores de rendimiento posible.

8.4.2 CAMBIO DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA CALIENTE

El cambio de los sistemas de distribución de agua caliente suele ser una intervención de un mayor calado, ya que si estos sistemas van empotrados pueden significar la demolición de algunos elementos.

Estos cambios suelen ser motivados por dos razones, por un lado, que la red de distribución de agua hacia los elementos emisores tenga algún tipo de lesión que haga recomendable su sustitución o que esta no tenga un adecuado funcionamiento y no presente un adecuado nivel de rendimiento por lo que su sustitución por un nuevo sistema de distribución sea lo más eficiente (por ejemplo, en sistemas de distribución monotubo, de retorno directo o sistemas mal dimensionados o equilibrados).

En estos casos, y una vez elegido, trazado y dimensionado el sistema de distribución, se deben tener en cuenta algunos condicionantes importantes, algunos de los cuales se citan a continuación:

- La correcta elección del material de las tuberías, que se adapte correctamente al tipo de trazado y a la temperatura del agua que debe circular por su interior, eligiendo materiales adecuados, con baja permeabilidad al oxígeno (en caso de materiales plásticos) para evitar corrosiones en los equipos y que se adapten perfectamente al trazado elegido.
- Aislar adecuadamente las tuberías a instalar, siguiendo lo establecido en la IT 1.2.4.2. del RITE, para así poder minimizar las pérdidas energéticas que se producen en el transporte.
- Diseñar trazados donde la evacuación de posibles burbujas de aire sea factible, mediante la ejecución de pequeñas pendientes en los tramos rectos que faciliten la evacuación de esas posibles burbujas hacia los purgadores ubicados en los puntos más altos de la instalación.
- Aprovechamiento de falsos techos y/o huecos de obra para el paso de tuberías de forma que los empotramientos se reduzcan lo más posible y se facilite el registro y mantenimiento de la red de tuberías.
- Facilidad de la regulación de la red, de forma que se pueda sectorizar la instalación en función de las necesidades de esta, dotándola de una mayor eficiencia y facilidad para proporcionar una adecuada sensación de confort al usuario.

Si se debe cambiar el sistema de distribución de la red, normalmente se puede aprovechar para resituar los emisores de la instalación, si estos no están correctamente distribuidos en las estancias de la edificación que se está rehabilitando.

8.4.3 SUSTITUCIÓN DE LOS EMISORES

En la mayoría de las ocasiones, si la distribución de los emisores de calor es adecuada (están correctamente situados), la sustitución de los emisores de calor (radiadores) puede ser debida a diversas circunstancias:

- Que presenten fugas o desperfectos que hagan inviable su reutilización.
- Cambio de emisores para reconvertir la instalación a baja temperatura, por lo que la potencia de intercambio térmico de los emisores existentes no sea suficiente y se deban colocar unos nuevos con una potencia de intercambio energético acorde con la nueva instalación.
- Sustitución de emisores antiguos de mucha inercia térmica (fundición o acero), por otros nuevos con menor inercia térmica para que la instalación entre en régimen de funcionamiento en un menor tiempo.
- Sustitución de emisores por condicionantes estéticos o de diseño.

En caso de que los emisores se encuentren ubicados de forma incorrecta (tal y como se ha expuesto en puntos anteriores), la recolocación de los emisores en el lugar adecuado de las estancias y su nueva distribución puede significar también un cambio en la red de tuberías de distribución, teniendo en consideración lo establecido en el punto anterior. Este tipo

de cambio suele conllevar un cambio de los radiadores, colocando normalmente aparatos más modernos, con un diseño acorde a la nueva instalación y materiales más eficientes en el intercambio térmico.

En cualquier caso, hay que tener en cuenta que, para la correcta instalación de los radiadores, estos deberán estar dotados de la valvulería adecuada, para ello en todos los emisores se instalará un purgador de aire, pudiendo ser de accionamiento manual o automático.

Además, se colocará un detentor en la salida para prevenir el vaciado del circuito al desmontar el radiador, y en la entrada se instalará una válvula de doble reglaje (Figura 91), o por una válvula termostática debido al ahorro de combustible que proporcionan. Según el RITE (Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios), en sistemas de calefacción con radiadores y convectores, se deberá contar con un sistema de control centralizado de temperatura del agua para cada zona del edificio, teniendo válvulas termostáticas en todos los radiadores ubicados en las estancias de las viviendas.

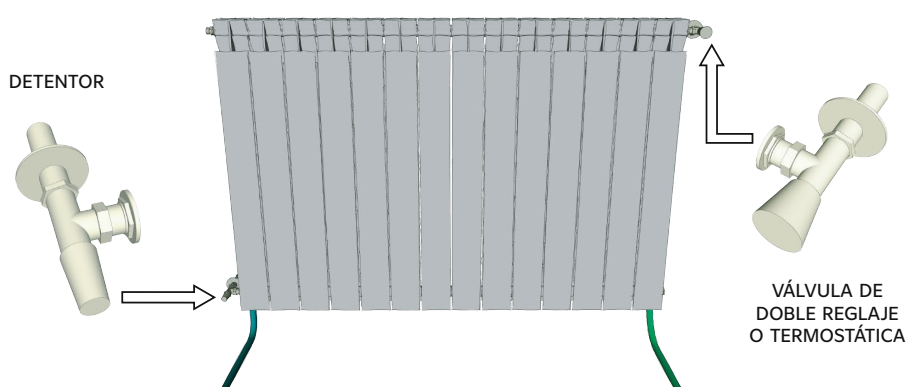


Figura 91. Complementos de un radiador, llave de doble reglaje y detentor.

8.4.4 SISTEMAS DE CALEFACCIÓN POR SUELO RADIANTE

Si se sigue hablando de los sistemas de calefacción por agua, dentro de los sistemas especiales se puede englobar los sistemas de suelo, techo e incluso paredes radiantes.

Aunque los sistemas de calefacción radiante por suelo son cada vez más frecuentes en el mercado, su desarrollo tecnológico es relativamente reciente en el sector popularizándose fundamentalmente a partir de los años 90.

En la actualidad, las instalaciones que se realizan, puede decirse que son de dos tipos distintos, o bien eléctricas, consistentes en un conductor eléctrico alojado en el suelo, o por agua caliente bajo tubo, aunque todo lo que se indique como temperaturas de diseño, potencia térmica, etc. es perfectamente válido para ambos.

En la Figura 92 se puede observar la representación de una distribución ideal de temperatura para los humanos. Esta distribución implica que la temperatura en el suelo debe ser mayor que en el techo, ya que el calor en los pies genera una sensación de comodidad, mientras que un exceso de calor en la cabeza produce malestar. La distribución de temperaturas que se muestra en la Figura 92 corresponde a la obtenida utilizando un sistema de calefacción por suelo radiante, que se acerca en mayor medida a la distribución ideal.

La principal ventaja de este sistema es, que el aire puede estar a una temperatura inferior a 18 °C, lo que se traduce en una sensación de bienestar y que, al poseer una gran superficie y baja temperatura, las corrientes de convección son pequeñas y por tanto no son molestas.

Los costes de explotación son menores que los de otros sistemas que trabajan alta temperatura, pero no más de un 10%, aunque los costes de implantación son más caros que los sistemas de radiadores tradicionales.

Cuando la temperatura del suelo sobrepasa cierto límite se provoca una sensación de malestar, por lo que se deben diseñar estas instalaciones para baja temperatura del agua de calefacción, la temperatura superficial del suelo no sobrepasará los 29 °C en las zonas normalmente ocupadas. Esto permite que la temperatura de entrada del agua en la ida a los distribuidores basta que sea entorno a los 40 °C produciéndose un menor salto térmico y un menor consumo energético en los sistemas de producción.

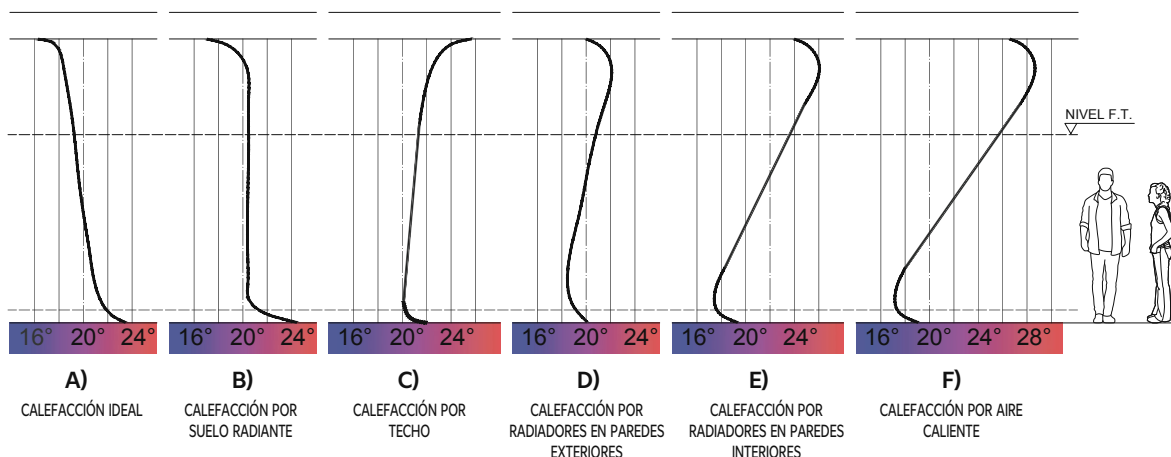


Figura 92. Distribución de la temperatura en función del sistema.

Por otra parte, se producen fuertes pérdidas de calor hacia los locales situados debajo, por lo que para reducirlas es preciso colocar un aislamiento resistente (Figura 93) debajo de los tubos por los que circula el agua de la instalación.

La instalación de suelo radiante se realiza exclusivamente por colectores (Figura 94), de forma que estos puedan controlarse desde un armario normalmente colocado en la parte baja de algún cerramiento vertical. El distribuidor es una pieza clave en la instalación de calefacción por suelo radiante, donde se realiza el equilibrado y la distribución del caudal de cada circuito, permitiendo el control particular de cada uno y la posibilidad de una regulación termostática opcional. Lleva también incorporados los purgadores, para eliminar el aire de los circuitos para que los serpentines proporcionen buenos rendimientos.

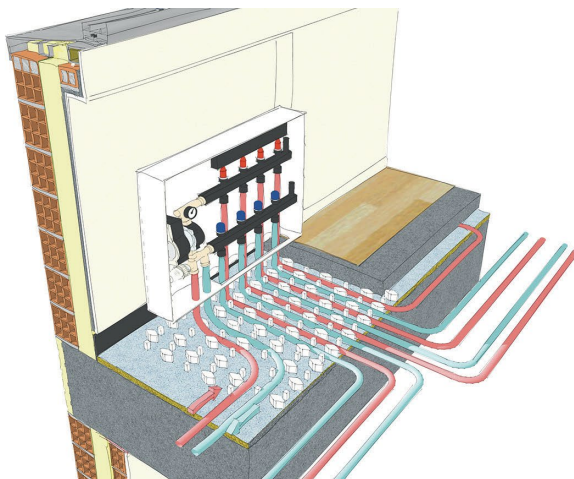


Figura 93. Detalle constructivo de suelo radiante.

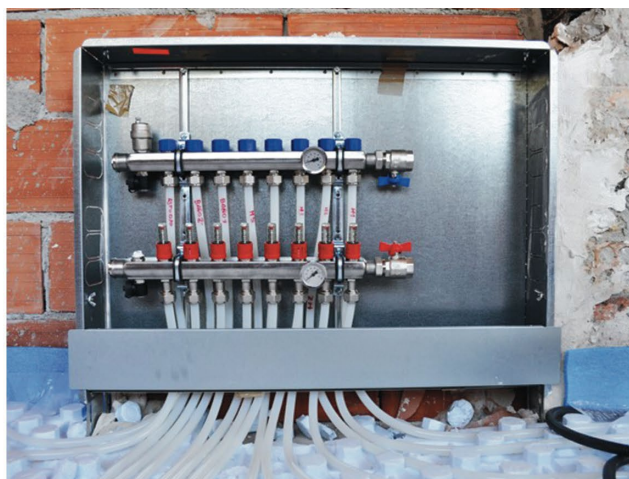


Figura 94. Instalación de colectores de suelo radiante.

Con respecto al suelo radiante eléctrico, su uso es cada vez más puntual en el sector de la edificación, debido a su bajo rendimiento y su alto consumo energético. Es posible encontrar distintos sistemas de suelo radiante eléctrico, desde cables conductores montados en rejillas de fibras sintéticas que se empotran bajo los pavimentos, pasando por una serie de "folios radiantes" con conductores planos embebidos entre láminas finas de plásticos que se colocan bajo los pavimentos.

9.1 PRINCIPIOS BÁSICOS DE LAS INSTALACIONES DE ACONDICIONAMIENTO DE AIRE

La mayor parte de los sistemas de refrigeración de aire que se pueden encontrar en la edificación existente se basan en el uso de máquinas frigoríficas de compresión mecánica también conocidos como sistemas de refrigeración por expansión (directa o indirecta).

Estos sistemas se basan en la utilización de la denominada máquina frigorífica, que está compuesta por los siguientes elementos:

- Condensador.
- Evaporador.
- Compresor.
- Elemento de expansión: capilar o válvula de expansión.
- Filtro frigorífico.
- Termostato.
- Dispositivos de protección y seguridad.
- Filtro de aire.

Los primeros cuatro elementos son los básicos en todo circuito frigorífico, el resto, si bien son secundarios, son necesarios para el funcionamiento de los equipos de aire acondicionado.

El condensador y evaporador pueden estar refrigerados bien por aire con motor ventilador o bien por agua con batería refrigerada por agua.

Los elementos básicos están unidos entre sí a través de la tubería frigorífica, de cobre, duro o recocido. Por el interior de esta tubería circula el fluido frigorífico o refrigerante, que es el que disminuye la temperatura, al transformarse de líquido a vapor a su paso por el evaporador. Se trata, por lo tanto, de un circuito "cerrado", totalmente estanco, en el que una vez cargada de gas la máquina, dicho gas refrigerante debe permanecer en ella indefinidamente.

El ciclo frigorífico es el que describe el fluido frigorífico por el interior de todo el circuito y como referencia, se va a tomar la Figura 95 para explicar su funcionamiento.

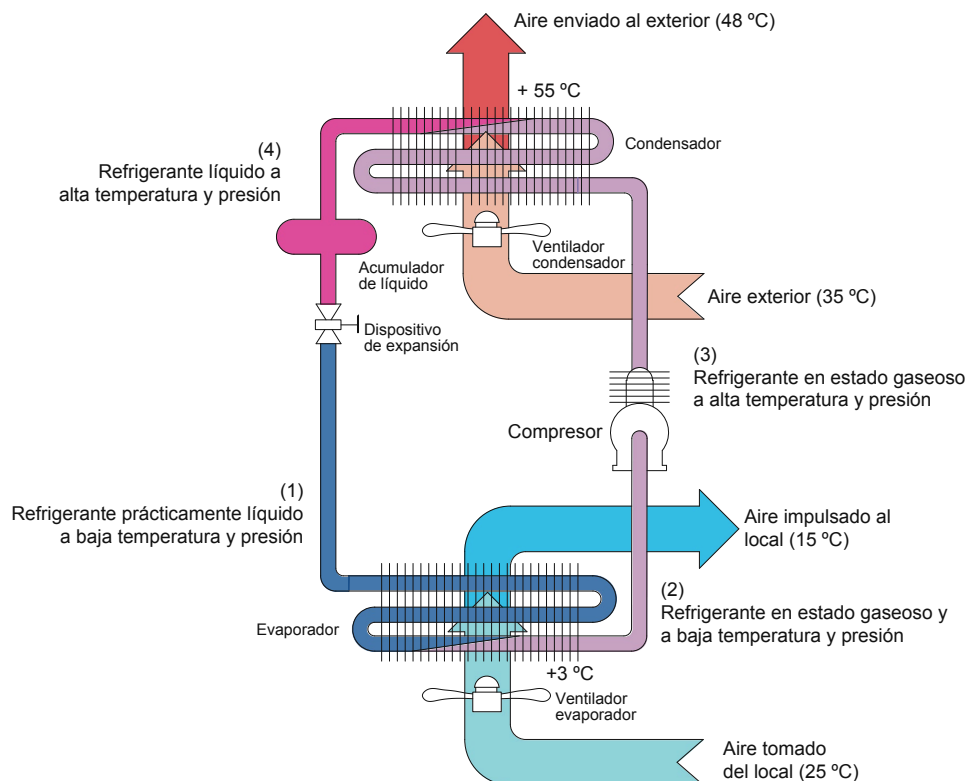


Figura 95. Esquema del circuito frigorífico de una máquina de compresión mecánica.

Conjuntamente, y como complemento a la Figura 95 se muestra a continuación la Tabla 14 con la descripción de todos los pasos que completa este circuito cerrado del ciclo frigorífico.

Tabla 14. Cuadro sinóptico del ciclo frigorífico.

Componentes	Fases		Proceso	Observaciones
	Entrada	Salida		
Evaporador	Refrigerante en estado prácticamente líquido. Baja temperatura. Baja presión.	Refrigerante en estado gaseoso. Baja temperatura. Baja presión.	El aire de entrada al evaporador mezcla de aire de retorno y de ventilación, se enfría y deshumidifica. El refrigerante en estado líquido se transforma en refrigerante gaseoso. El aire cede la carga del local al refrigerante.	Se precisa un ventilador que aspire el aire de mezcla, lo pase a través de nuevo al local frío y deshumidificado. Se produce una recirculación del aire: aire de mezcla → evaporador → aire de impulsión → aire de mezcla. Aquí se produce el efecto útil de enfriar el aire.
Compresor	Refrigerante en estado gaseoso. Baja temperatura. Baja presión.	Refrigerante en estado gaseoso. Alta temperatura. Alta presión.	El compresor comprime el gas, disminuyendo su volumen y aumentando la presión y temperatura del gas.	El compresor requiere un motor eléctrico que consume energía de la red. El gas refrigerante transporta la carga térmica del local y la energía que se comunica al compresor.
Condensador.	Refrigerante en estado gaseoso. Alta temperatura. Alta presión.	Refrigerante en estado líquido. Alta temperatura. Alta presión.	El aire de entrada al condensador es caliente. El refrigerante se licúa. El refrigerante cede al aire del condensador toda su energía; la que absorbió en el evaporador (o sea la carga térmica del local) más la comunicada por el compresor.	Se precisa un ventilador que aspire el aire del exterior, lo haga circular a través del condensador y lo lance de nuevo al exterior. Hay que evitar la recirculación de este aire. Aquí se produce un efecto no útil; enviar aire caliente a la atmósfera.
Dispositivo de Expansión	Refrigerante en estado líquido. Alta temperatura. Alta presión.	Refrigerante en estado prácticamente líquido. Baja temperatura. Baja presión.	El dispositivo de expansión hace pasar al refrigerante desde una presión alta a una baja. Reduce su temperatura..	Sirve para alimentar el evaporador de fluido refrigerante.

En la Tabla 14, se puede observar que la cesión o ganancia de energía que se ocasiona en el refrigerante, en el condensador o en el evaporador, se producen por el intercambio energético entre el refrigerante y otro medio, en este caso el aire. En función de que este intercambio energético se produzca con aire o con agua, se pueden clasificar los equipos de aire acondicionado en cuatro grandes grupos: aire – aire, aire – agua, agua – aire y agua – agua, que se describirán más adelante.

9.1.1 COMPONENTES PRINCIPALES DE LAS MÁQUINAS FRIGORÍFICAS

A continuación, se van a exponer de manera sucinta los componentes principales de las máquinas frigoríficas.

- **El evaporador:** intercambiador energético, normalmente en forma de batería de tubos con aletas alimentado por líquido refrigerante donde se produce el intercambio energético entre éste y el ambiente interior (a través de aire o de cualquier otro fluido caloportador). En modo refrigeración, el refrigerante que se encuentra a baja temperatura y presión absorbe la energía del ambiente interior produciendo su enfriamiento.
- **El compresor:** es el elemento principal de la instalación y aunque su cometido es diverso, siempre tiene como actividad la compresión del fluido frigorígeno gaseoso a baja presión que procede del evaporador, disminuyendo su volumen y aumentando su temperatura, hasta una presión superior para que pueda ser condensado y así aprovechar, en el ciclo frigorífico, el intercambio doble de calor entre el evaporador y el condensador.

El compresor, para realizar sus funciones consume una energía que toma a través de un motor, alimentado desde la red eléctrica.

La energía que toma el compresor se la cede al fluido refrigerante, para comprimirlo y calentarlo, por lo que éste al salir del compresor lleva la energía con la que entró al compresor, más la suministrada por éste.

Este es el elemento del circuito que produce ruido y provoca el movimiento del refrigerante en el circuito, siendo el componente de la máquina frigorífica que más modificaciones ha tenido. Últimamente los sistemas *inverter* (de invento japonés) es el que ha impulsado mayores cambios en los sistemas de aire acondicionado.

Los sistemas *inverter* poseen compresores que funcionan en corriente continua y que están dotados de un dispositivo electrónico que permite modificar la frecuencia de la corriente y por tanto la velocidad de funcionamiento del compresor modulando su capacidad para ajustarse perfectamente a la demanda, reduciendo así su consumo eléctrico.

- **El condensador:** de composición prácticamente idéntica al evaporador, tiene la función inversa. En modo refrigeración, tiene la misión de ceder energía al ambiente exterior, para producir un enfriamiento del líquido frigorífico que circula por su interior.
- **El dispositivo de expansión:** que puede estar formado por un dispositivo donde se almacena el líquido refrigerante proveniente del condensador, donde a su salida se dispone de una válvula de expansión desde donde se alimenta al evaporador. En este dispositivo se produce una disminución brusca de la presión del líquido refrigerante lo que provoca una disminución drástica de su temperatura.
- **Dispositivos de control:** conformados fundamentalmente por termostatos ambiente, que al igual que pasaba con las instalaciones de calefacción, se establecen como un componente clave de la instalación para asegurar su adecuado funcionamiento y obtención del mejor de sus rendimientos.
- Los **termostatos** de las instalaciones de aire acondicionado controlan el adecuado funcionamiento de estos, por lo que su correcta ubicación en las estancias a climatizar es vital, teniendo las mismas consideraciones que en las instalaciones de calefacción (ver punto 1 del capítulo 8). De hecho, en instalaciones de climatización que proporcionen tanto calefacción como refrigeración, el termostato que controla éstas, es el mismo. Aunque no es frecuente en instalaciones de aire acondicionado residenciales, también es recomendable dotar al sistema de sondas de temperatura exterior, para poder efectuar adaptaciones y correcciones en el funcionamiento de este para ajustarlos más adecuadamente a los requisitos de confort de los usuarios.
- Por último, cabe mencionar la utilización de **sistemas de seguridad y filtros**, que sirven para poder evitar funcionamientos incorrectos de la instalación como las pérdidas o fugas en la recogida de agua de condensados provenientes de la condensación de agua del ambiente interior o exterior, y la presencia de filtros que aseguran una adecuada calidad del aire que se recircula por la máquina, llegando en ocasiones incluso a disponer de sistemas de desinfección de ese aire.
- También se debe añadir un elemento como son las **torres de enfriamiento** que únicamente aparecen los sistemas agua – aire o los sistemas agua – agua, que posteriormente se explicarán.

Estas torres surgen con la necesidad de reaprovechar el agua utilizada para el enfriamiento de la batería de la condensadora (Figura 96), utilizando una instalación que toma agua de la salida del condensador, e impulsándola a través de una bomba, la introduce en la torre, donde se enfría, y una vez enfriada, entra en el condensador, formándose así un circuito cerrado sin pérdida de agua.

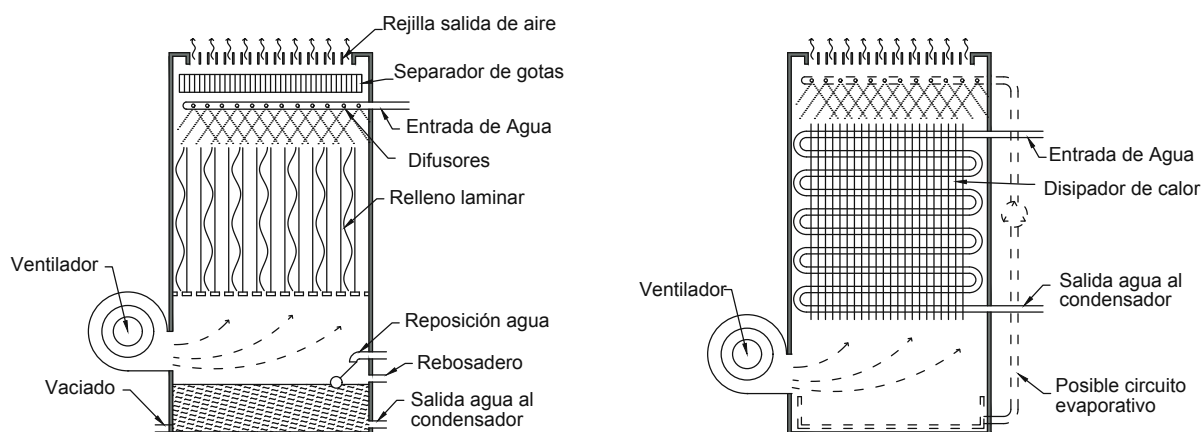


Figura 96. Esquema torres de refrigeración. Abierta a la izquierda y cerrada a la derecha.

La torre propiamente dicha consiste en una cámara cerrada con una entrada y una salida para el agua. El agua entra en la torre por un tubo, situado en su parte superior, de donde salen unas boquillas (rociadores) que proyectan el agua en forma de ducha a unas láminas paralelas onduladas llamadas "relleno". El agua por gravedad va cayendo por estas láminas, pero es atravesada de abajo hacia arriba por la corriente de aire creada por el ventilador con lo cual se enfría. El agua es recogida en un depósito colocado en la parte inferior de la torre, por donde sale y se reutiliza en el enfriamiento de la batería del condensador.

9.1.2 CLASIFICACIÓN DE LOS EQUIPOS SEGÚN EL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN DE LAS BATERÍAS

Se ha visto cómo las baterías condensadoras y evaporadoras pueden estar enfriadas por aire mediante un ventilador o también lo pueden ser por agua.

Cuando alguna de estas baterías está enfriada por agua, ya sea el evaporador o el condensador, surgen nuevos elementos en la instalación. En el caso del evaporador enfriado por agua, es necesario un segundo intercambio entre esta agua y el ambiente interior a climatizar, por lo que aparecen unidades denominadas "fancoils" o ventiloconvectores, donde se produce ese necesario segundo intercambio energético entre el agua enfriada y el ambiente interior.

En el caso de enfriar la batería del condensador por agua, para la reutilización de esta en el proceso de intercambiar la energía con el refrigerante, surge la necesidad de volver a disminuir la temperatura del agua a utilizar en el proceso, por lo que será necesaria la utilización de "torres de enfriamiento" para ello.

Según estas posibilidades de enfriamiento de las baterías condensadora y evaporadora, se pueden clasificar las máquinas de aire acondicionado, en cuanto al sistema de refrigeración se refiere del siguiente modo:

- a) **Sistemas aire – aire:** donde el intercambio energético de la condensadora y de la evaporadora se produce con el aire exterior e interior respectivamente (Figura 97).

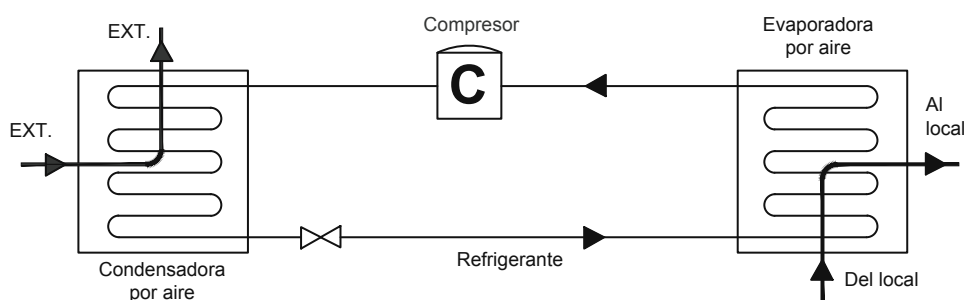


Figura 97. Esquema funcionamiento sistema AIRE - AIRE.

- b) **Sistemas aire – agua:** el intercambio de energía del evaporador se produce con agua, que se distribuye por una red de tuberías hasta los fancoils o ventiloconvectores que intercambiar la energía con el aire del ambiente interior. Este sistema también se conoce como aerotermia en instalaciones de calefacción (Figura 98).

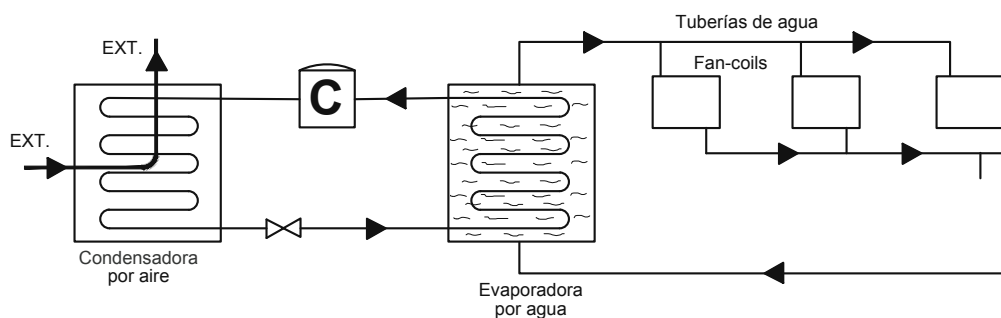


Figura 98. Esquema funcionamiento sistema AIRE - AGUA.

- c) **Sistemas agua – aire:** el enfriamiento del refrigerante en el condensador se realiza mediante un intercambio térmico con agua, que posteriormente se deberá volver a enfriar utilizando para ello una torre de refrigeración (Figura 99).

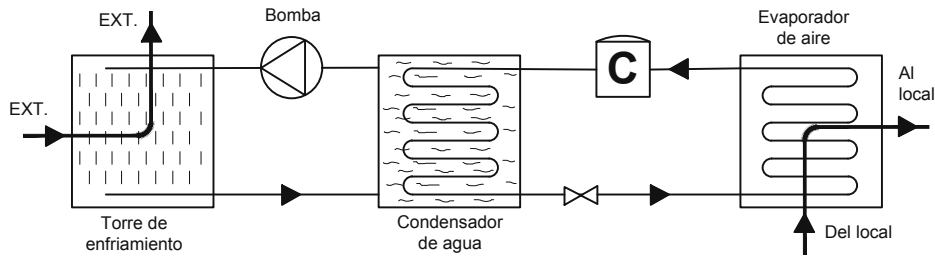


Figura 99. Esquema funcionamiento sistema AGUA - AIRE

- d) **Sistemas agua – agua:** es la combinación de los dos sistemas anteriores, donde ambas baterías (condensador y evaporador) son enfriadas por agua, por lo que es necesario la utilización de torres de enfriamiento para recuperar el agua del condensador y fancoils para el intercambio energético con el ambiente interior (Figura 100).

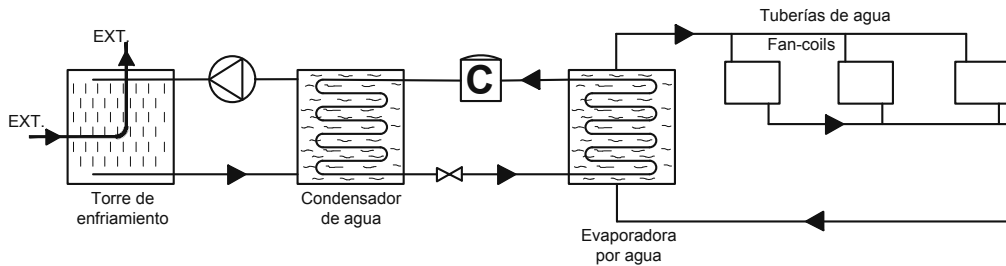


Figura 100. Esquema funcionamiento sistema AGUA - AGUA..

9.1.2.1 Coeficientes de eficiencia energética en una máquina frigorífica

Si se analizan las relaciones entre las energías caloríficas entregadas y la potencia absorbida por la máquina durante su funcionamiento, se pueden obtener los coeficientes de eficiencia o rendimiento.

- a) En modalidad de refrigeración, se denomina **EER** (Efficiency Energy Rated):

Es la relación entre la capacidad frigorífica entregada y la potencia efectiva absorbida por la máquina en unas condiciones estándar de funcionamiento al 100% de sus rendimientos y con condiciones de temperatura exterior fijas.

Ecuación 1. Eficiencia energética en refrigeración.

$$E. E. R. = \frac{\text{potencia frigorífica entregada}}{\text{energía consumida}} = \frac{Q_e}{Q_w} \quad (12)$$

Siendo:

Q_e = energía frigorífica aportada al local por el evaporador.

Q_w = energía consumida por el compresor.

- b) En modalidad calefacción, se denomina **COP** (Coeficiente of Performace):

Es la relación entre la capacidad calorífica entregada y la potencia efectiva absorbida por la máquina. Al igual que el EER, se mide en condiciones estándar de funcionamiento de la máquina al 100% de su carga y con condiciones exteriores de temperatura fijas.

$$C.O.P. = \frac{\text{potencia calorífica entregada}}{\text{energía consumida}} = \frac{Q_c}{Q_w} = \frac{Q_e + Q_w}{Q_w} \quad (13)$$

Siendo:

Q_c = energía cedida por el condensador al local ($Q_e + Q_w$).

Q_w = energía consumida por el compresor.

Q_e = energía extraída del aire exterior por el evaporador.

- c) En refrigeración, el **SEER** (Seasonal Energy Efficiency Ratio) o Ratio de Eficiencia Energética Estacional:

Es la ratio de eficiencia energética estacional y lo que hace es medir el consumo energético de una máquina a cargas parciales y en función de unas temperaturas exteriores definidas por cada zona climática, es decir, que cada máquina tendrá un valor distinto de SEER en función de la zona climática donde vaya a ir instalada.

- d) En calefacción, el **SCOP** (Seasonal Coefficient Of Performance) o Coeficiente de rendimiento estacional:

Al igual que ocurre con el SEER, el SCOP mide la cantidad de energía que genera la máquina en modo calefacción por cada kilovatio de energía que consume, teniendo en cuenta los distintos perfiles de carga de funcionamiento de esta y las condiciones exteriores de clima variables en función de las distintas zonas climáticas.

En el caso de los sistemas informáticos de certificación como se puede ver en la Figura 101 estos coeficientes energéticos definidos son los necesarios para el cálculo de la certificación.

Equipo de calefacción y refrigeración

Nombre: Calefacción y refrigeración

Zona: Edificio Objeto

Características

Tipo de generador: Bomba de Calor

Tipo de combustible: Electricidad

Demanda cubierta

	Calefacción	Refrigeración
Superficie (m2)	150.0	150.0
Porcentaje (%)	100	100

Rendimiento medio estacional

Rendimiento estacional: Estimado según Instalación

Antigüedad del equipo: Anterior a 1994

	Rendimiento nominal		Rendimiento medio estacional	
Calefacción	200.0	%	119.2	%
Refrigeración	180.0	%	124.9	%

Figura 101. Captura de uno de los programas informáticos de certificación energética donde se definen los coeficientes de eficiencia energética de los equipos de climatización (COP y EER).

9.2 CARGAS A CONSIDERAR EN EL DISEÑO Y REHABILITACIÓN EN UNA INSTALACIÓN DE AIRE ACONDICIONADO

Al igual que ocurría con las instalaciones de calefacción, cuando se decide rehabilitar una instalación de refrigeración, lo primero que se debe de considerar es si ésta supe correctamente las cargas para las que se diseñó, determinando si la instalación está infradimensionada o sobredimensionada.

Normalmente estas instalaciones están sobredimensionadas, por lo que si además de rehabilitar las instalaciones, se tiene previsto el actuar en la envolvente disminuyendo así las cargas a combatir, los nuevos equipos a instalar podrán ser de mucha menor potencia. Además, si los equipos originales ya tienen cierta antigüedad, hay que tener en cuenta que los más modernos disponen de rendimientos mucho más altos, por lo que la potencia consumida podrá ser mucho más baja que la originalmente instalada.

En el caso de instalaciones infradimensionadas, hay que tener en cuenta que, si se actúa en la demanda energética, disminuyéndola, es posible que esos equipos que inicialmente son insuficientes, después de una actuación en la reducción de la demanda, es posible que cumplan sobradamente sus funciones.

En cualquiera de los dos casos, en la mayoría de las ocasiones es necesario considerar las cargas a las que va a estar sujeta la instalación e incluso como pueden llegar a disminuirse de forma sencilla, para así reducir la demanda energética.

Es necesario recordar, que lo que se busca a la hora de evaluar las cargas de refrigeración es, por un lado, no tener aportaciones energéticas desde el exterior (ganancias térmicas) y, por otro lado, el poder perder la máxima cantidad de energía que se genere al interior de las edificaciones (pérdidas energéticas). Es decir, lo contrario que en las instalaciones de calefacción que se buscaba evitar las pérdidas desde el interior e incluso se favorecía el ganar energía gratuita desde el exterior (Figura 102).

Las condiciones de diseño de este tipo de instalaciones están establecidas en el RITE al igual que las instalaciones de calefacción tal y como ya se ha explicado en el capítulo anterior (ver punto 1 del capítulo 8).

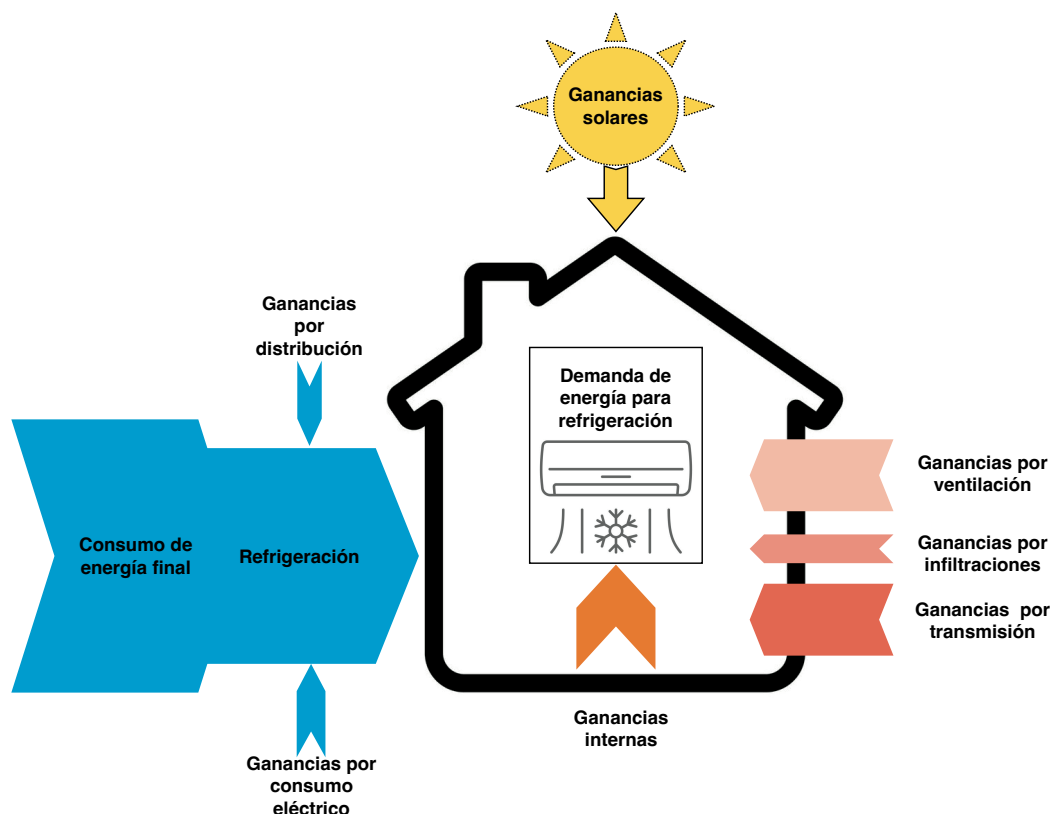


Figura 102. Pérdidas y ganancias en las instalaciones de aire acondicionado.

Como ocurre con la velocidad del aire, la humedad juega un papel importante a la hora de obtener una percepción de la sensación producida por la temperatura. Esta influencia es mucho más relevante cuando existen temperaturas intermedias y bajas velocidades del aire, siendo la humedad el factor predominante en esas ocasiones. Si el viento puede acrecentar la sensación de frío, cuando se tienen temperaturas elevadas, la humedad acrecienta la sensación de calor.

Con respecto a esto último, se pueden diferenciar dos tipos de temperatura, por un lado, la temperatura denominada “de bulbo seco”, que es la que se obtiene de forma sencilla con cualquier termómetro y que aparece en la escala horizontal del diagrama psicrométrico y la temperatura denominada de “bulbo húmedo”, que es en la cual se produce la evaporación del agua de un determinado aire, es decir, que es la temperatura que se obtiene teniendo en cuenta la humedad relativa del aire en cuestión. Estas temperaturas, junto con la humedad específica y la relativa, configuran las líneas básicas del diagrama psicrométrico que se muestra en la Figura 103.

Sabiendo las condiciones iniciales de un aire interior, se podrá saber si nos interesa calefactar, enfriar, humedecer o desecar el ambiente, intentando llegar a las condiciones más favorables de confort interior para los usuarios.

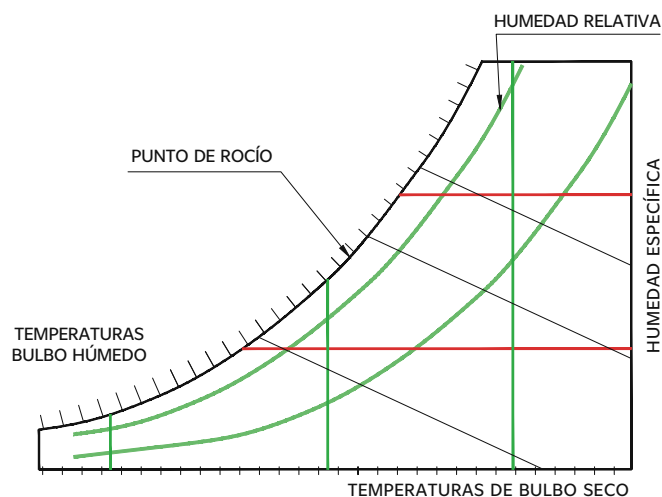


Figura 103. Elementos fundamentales que componen el diagrama psicrométrico.

Las cargas térmicas a considerar en las instalaciones de refrigeración (Figura 102 y Figura 104) son las siguientes:

a) **Cargas exteriores:**

- o Ganancias por **radiación solar directa en huecos (QR)**, este tipo de cargas es variable a lo largo del día, en función de la orientación de los huecos y la hora del día. Para reducir su incidencia en la demanda de refrigeración el propio Código Técnico establece en el DB-HE 1 una limitación del valor límite de la cantidad de radiación solar que puede entrar por los huecos en el julio $q_{sol,jul}$ (ver capítulo 6). Este tipo de ganancias térmicas se puede controlar en rehabilitación energética con sombreamientos fijos o móviles o con la colocación de vidrios con un factor solar bajo³².
- o Ganancias por **transmisión a través de los huecos (QT_v)**, que constituyen la entrada de energía a través de conducción y convección de la energía a través de los huecos exteriores. Esta carga dependerá directamente de la transmitancia térmica de estos elementos, es decir de su U, por lo que la colocación de carpinterías con transmitancias térmicas bajas ayuda tanto a evitar que nos entre energía desde el exterior y a que nos salga energía desde el interior. Este tipo de carga es análoga a la que se pueda tener en cuenta en las instalaciones de calefacción.
- o Cargas por **transmisión y radiación a través de muros exteriores (QT_{ME})**. La transferencia de estas cargas es fundamentalmente por transmisión a través de los cerramientos exteriores, pero ésta se puede ver incrementada por la radiación solar que incide en estos elementos. La cantidad de energía que penetra a través de los cerramientos no dependerá únicamente de su capacidad aislante, sino también de su absortividad, o capacidad de captar energía en función de su color exterior. Además, y al igual que ocurre cuando se evalúa este tipo de cargas en calefacción, también influye la masa del cerramiento, ya que la inercia que se aporta al conjunto puede retrasar la entrada de energía al interior y facilitar así su posterior evacuación. Al igual que ocurre con las ventanas, como una parte de la energía que pasa a través del cerramiento está relacionada con la captación de radiación solar, la orientación de estos elementos y la hora del día también influyen en la cantidad de energía a considerar en este tipo de cargas.
- o Cargas por **transmisión a través de cerramientos a locales no climatizados (QT_{MI})**, donde se consideran las cargas que puedan afectar al local a través de la transmisión que se produce con los cerramientos en contacto con otros locales no climatizados.
- o Cargas por **ventilación (QV_s y QV_L)**. Son cargas latentes y sensibles, ya que la cantidad de energía que puede acceder al local a climatizar por la ventilación va a depender también de la humedad a la que se encuentre el aire que se introduce en nuestro sistema. Se aportan cargas sensibles en función de la temperatura seca del aire y cargas latentes en función de la humedad que posea ese aire.

³² Hay que considerar que vidrios con factores solares bajos, además de disminuir las ganancias en refrigeración, también lo hacen en calefacción, por lo que es necesario evaluar la idoneidad de este tipo de protecciones solares o la utilización de sombreamientos estacionales.

b) Cargas interiores:

- o Cargas por **ocupantes (Q_{Os} y Q_{OL})**. También son cargas Sensibles y Latentes, ya que los ocupantes de una estancia además de aportar energía por radiación (carga sensible) en función del tipo de actividad que estén realizando, también aportan humedad al ambiente debido a su respiración y transpiración (carga latente).
- o Otras cargas **internas (Q_I)**, conformadas fundamentalmente por las cargas aportadas por los sistemas de iluminación y otras cargas internas, como la presencia de motores y/o otros aparatos que puedan generar calor en el ambiente interior.

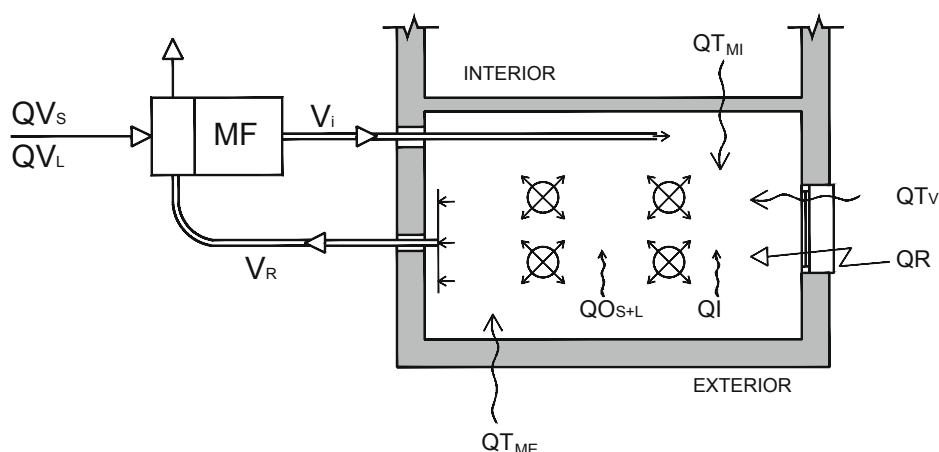


Figura 104. Esquema de las cargas a combatir por la máquina frigorífica.

9.3 PEQUEÑOS Y MEDIANOS SISTEMAS DE AIRE ACONDICIONADO

En la mayoría de las edificaciones existentes, los sistemas de climatización presentes son de pequeño o mediano tamaño, compuestos por equipos unitarios para la climatización de una única estancia o zona, o por equipos medianos destinados a climatizar de forma individual una vivienda o local.

En la Figura 105, se puede ver una clasificación sencilla de los pequeños y medianos sistemas de climatización más frecuentes en edificación residencial.

Cuando se habla de pequeños sistemas, tal y como se ha mencionado, se trata normalmente de aparatos individuales que sólo sirven a una única estancia de la vivienda o local.

Estos equipos pueden ser compactos, donde la condensadora y la evaporadora están montadas en una única carcasa estando el aparato completo en el interior del local a climatizar. Suelen ser equipos aire – aire, lo que implica que necesitan una salida de aire directa al exterior que usualmente se consigue mediante un hueco abierto en la envolvente³³. Estos equipos presentan evidentes desventajas, la primera es la discontinuidad que producen en la envolvente térmica de la edificación y su falta de estanqueidad. La segunda, no menos importante es que, al estar todas las partes de la máquina en un único conjunto, suelen producir bastante ruido en su funcionamiento normal, lo que afecta al confort del usuario. En este tipo de instalaciones se pueden incluir los sistemas portátiles, que necesitan una conexión, normalmente a través de un tubo flexible, con el exterior para evacuar el aire de la condensadora.

Dentro de los sistemas unitarios, en una configuración más moderna, se pueden encontrar los sistemas tipo “Split” a base de unidades partidas, donde la condensadora, el compresor y la válvula de expansión suelen estar en la unidad exterior (para evitar los ruidos en el interior de las estancias) y la evaporadora en la estancia que se quiere climatizar. Estos equipos también suelen ser tipo aire-aire, y en función de su antigüedad se dispondrá de distintos tipos de tecnologías de compresores, lo que los hace más o menos eficientes. Estos equipos Split, las unidades interiores pueden ser de suelo, pensadas inicialmente para que se comporten casi como un radiador en condiciones de invierno, de pared o de techo (Figura 106). Todas estas configuraciones son denominadas de “descarga directa”, ya que el aire sale de forma directa a la estancia que se está climatizando.

³³ A estos equipos se les suele denominar climatizadores “de ventana”, ya que necesitan un hueco en fachada donde se instala el climatizador, estando parte de este al interior de la estancia y la otra parte al exterior de la edificación.

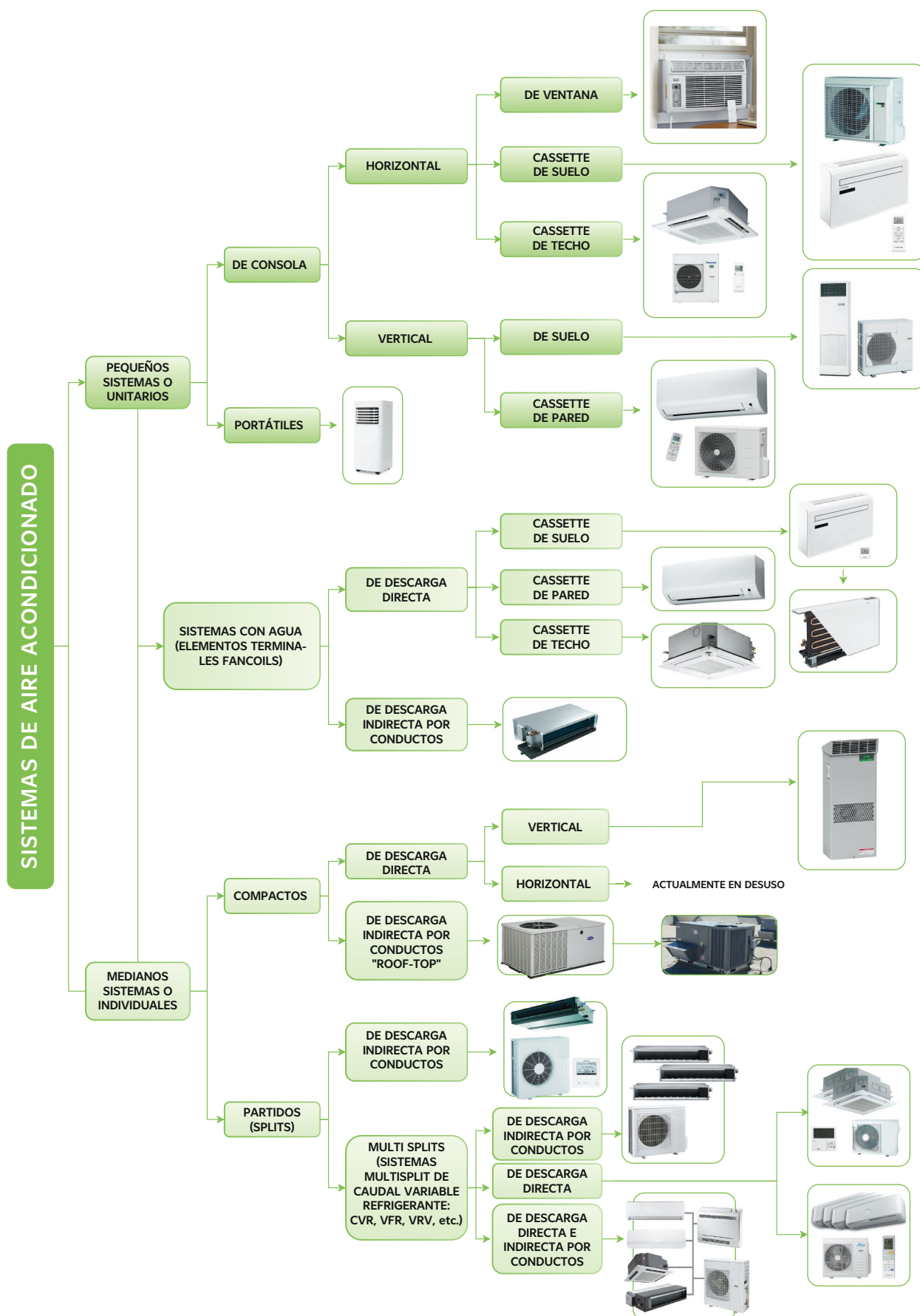


Figura 105. Clasificación de los pequeños y medianos sistemas de aire acondicionado.



Figura 106. Equipos Split de suelo, techo y pared.

En cuanto a los medianos sistemas, se refieren a equipos más potentes que los anteriores y que tienen la capacidad suficiente para climatizar una vivienda o local completo. En estas circunstancias, en edificación existente es posible encontrar fundamentalmente con dos tipos de equipos, por un lado, equipos compactos y por otro, equipos partidos.

En cuanto a los equipos compactos, al igual que ocurre con los pequeños sistemas aire – aire, en estos, todos los elementos de la máquina frigorífica están en una única carcasa, configurando un único aparato que normalmente está colocado en un falso techo y donde existe una toma y salida de aire al exterior, para producirse el enfriamiento de la condensadora. Aunque pueden existir equipos con descarga directa a la vivienda o al local (por un único punto), lo usual es que la descarga se produzca a través de una red de conductos (Figura 107) para intentar distribuir el aire climatizado lo más homogéneamente posible en la unidad habitacional a climatizar.

Por otro lado, también es posible encontrar equipos partidos, donde se dispone de una unidad exterior (con la condensadora, el compresor y la válvula de expansión) y otra unidad interior con la evaporadora. En estas condiciones, la descarga suele ser en conductos con salidas en todas las estancias a climatizar de la vivienda o local.

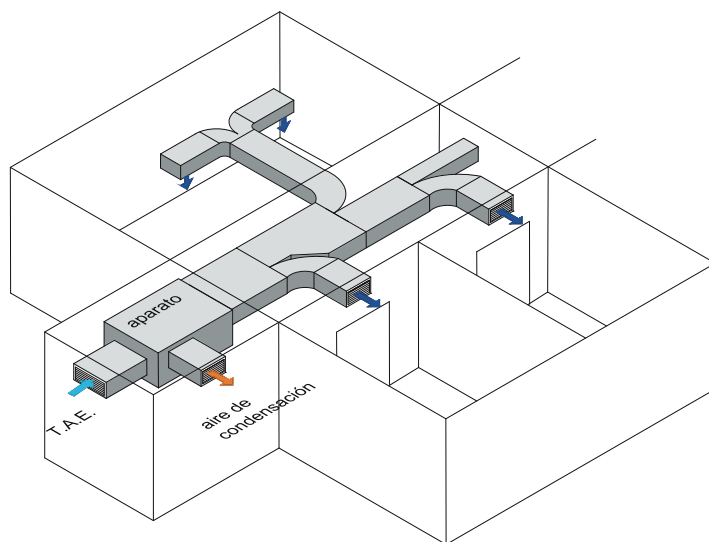


Figura 107. Esquema de un equipo mediano compacto de descarga indirecta en conductos.

Tanto con los equipos compactos como los partidos no suelen tener la posibilidad de zonificar, es decir, de tener distintas temperaturas en estancias distintas de la vivienda o local a excepción de que estén dotados de sistemas multizona (Figura 108), donde las rejillas de salidas de los conductos están motorizadas y actúan en función de un termostato ubicado en cada estancia. La utilización de estos sistemas multizona normalmente se pueden instalar cuando existen máquinas compatibles con ellos, que son capaces de regular la temperatura y caudal del aire de impulsión en base a las necesidades de cada termostato de zona.

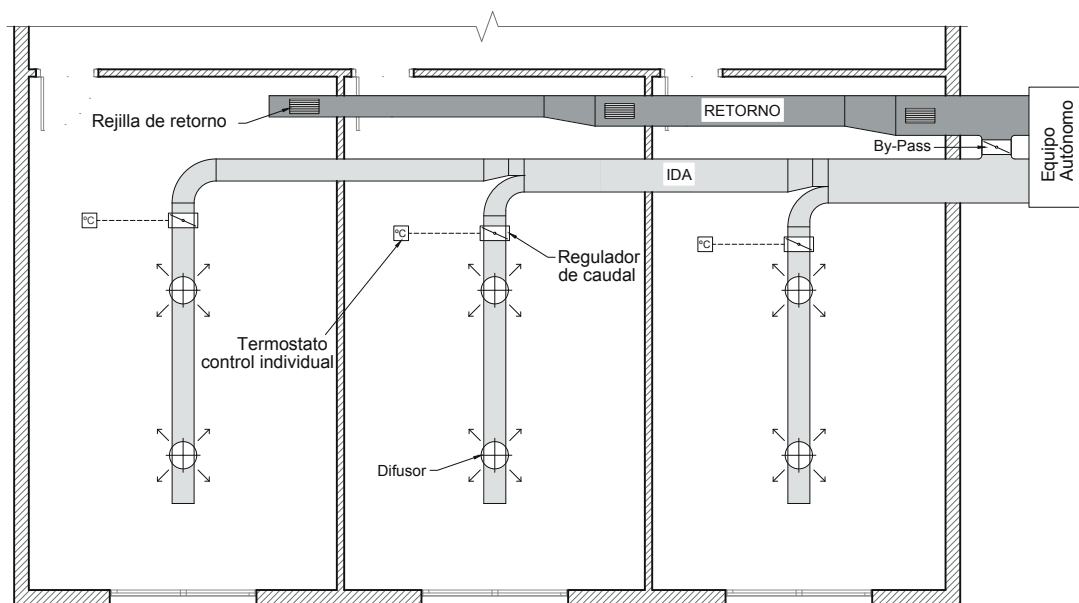


Figura 108. Esquema de un equipo partido de descarga indirecta dotado de sistema multizona.

En el caso de equipos o sistemas partidos, también existe la posibilidad de encontrar sistemas multisplit, donde una única unidad exterior puede alimentar varias unidades interiores, de forma que las unidades interiores (evaporadoras) pueden actuar totalmente independientes unas de otras servidas todas ellas desde una única unidad exterior (condensadora).

Las máquinas interiores están conectadas a la máquina exterior a través de líneas de refrigerante, compuestas por dos conductos (ida + retorno) que configuran los circuitos independientes que unen la condensadora exterior con cada una de las evaporadoras interiores. Además de estas conducciones de refrigerante, cada máquina está conectada eléctricamente para su alimentación y la intercomunicación entre los elementos del sistema. Aunque estos sistemas permiten zonificar la instalación, tanto desde el punto de vista del funcionamiento, hasta la elección de la temperatura interior de confort. A este último respecto, a pesar de que se permita la zonificación, todas las máquinas interiores deben de funcionar en el mismo modo, es decir, todas en modo refrigeración o todas en modo calefacción.

Para solventar esta última desventaja de estos sistemas multisplit, surgen los denominados sistemas de *Caudal Variable del Refrigerante* (CVR), también conocidas como VRF (*Variable Refrigerant Flow*) o VRV (*Variable Refrigerant Volume*). Estos sistemas son capaces de enviar a cada una de las unidades interiores, tanto la cantidad de fluido refrigerante necesario, así como en las condiciones adecuadas para su funcionamiento, es decir, puede alimentar las unidades interiores para que estas puedan funcionar en modos independientes al resto de unidades interiores.

Estos sistemas pueden funcionar de los siguientes modos:

- Modo solo frío: todas las unidades interiores funcionan en modo refrigeración.
- Modo bomba de calor: todas las unidades interiores funcionan en modo frío o en modo calor.
- Modo recuperación de energía: donde las unidades interiores pueden funcionar en refrigeración y en calefacción de forma simultánea, adecuándose a las necesidades de cada zona, de forma que se puede aprovechar la energía residual proveniente de uno de los modos para aprovecharla en el otro.

En los sistemas CVR en los que todas las máquinas interiores funcionan en modo frío o en modo calor, el circuito del líquido refrigerante se realiza con dos tubos, uno para la aspiración del refrigerante en estado líquido y otro para la impulsión de dicho refrigerante en estado gas. Es decir, se produce una distribución con un sistema de **dos tubos**.

No obstante, en los sistemas con recuperación de calor, el sistema de distribución del refrigerante se realiza con **tres tubos**, uno para la impulsión del refrigerante en estado líquido, otro para la aspiración en estado gaseoso y otro para la descarga y recuperación de energía en estado también gaseoso, tal y como puede observarse en la Figura 109.

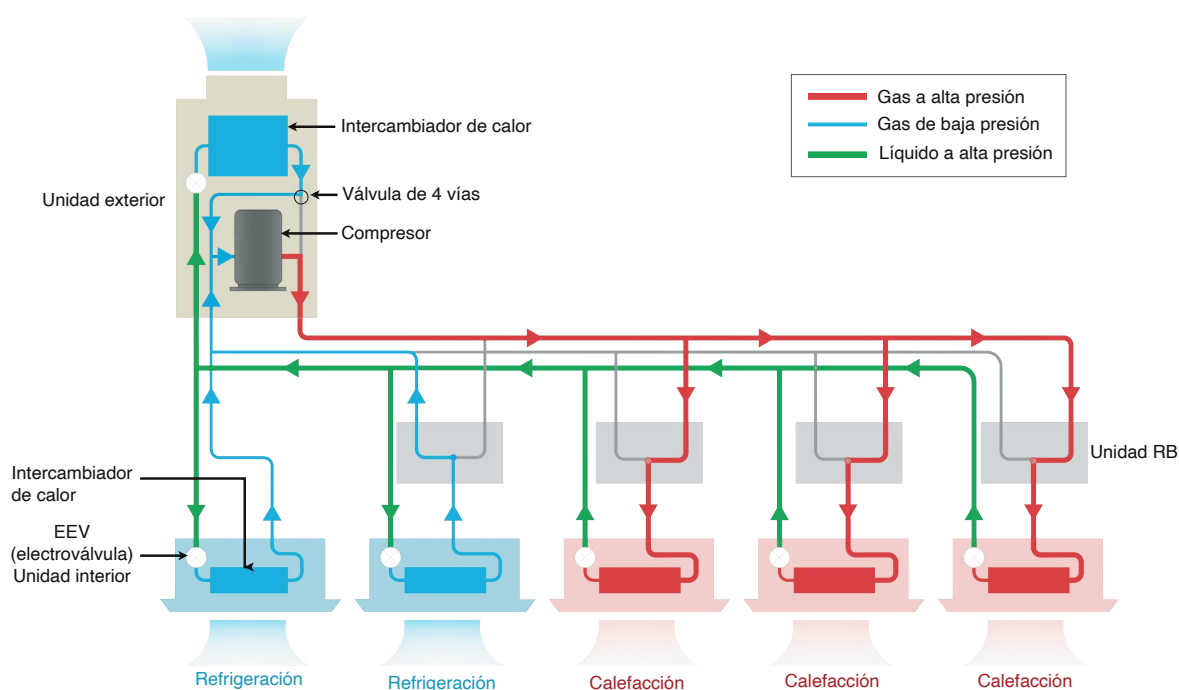


Figura 109. Esquema de funcionamiento de un sistema CVR con recuperación de calor a tres tubos.

9.4 INCORPORACIÓN Y REHABILITACIÓN ENERGÉTICA DE SISTEMAS DE CLIMATIZACIÓN

Al igual que ocurre con las instalaciones de calefacción, cuando se propone afrontar la rehabilitación energética de una instalación de aire acondicionado o su implantación para mejorar el confort térmico de una edificación se han de tener en cuenta diversos factores.

Inicialmente, si una edificación no cuenta con instalaciones de climatización (ya sean sólo calefacción o de calefacción y refrigeración), su implantación va a significar “en el papel” una mejora del comportamiento energético de la edificación, ya que, los valores de consumo energético proporcionados por los procedimientos de certificación energética, vienen dados por consumos “ficticios” de sistemas denominados de “referencia³⁴” y que van a simular la existencia de equipos (de rendimientos bajos) para cubrir las demandas energéticas y por lo tanto proporcionar una valores de consumo energético para poder así clasificar la edificación en análisis. Por tanto, la instalación de sistemas de climatización en edificios que no los poseen no solamente va a mejorar el comportamiento energético del edificio, sino que además va a proporcionar una relevante mejora del confort para el usuario.

En estos casos, el proceso de implantación está más estandarizado, pasando inicialmente por un adecuado dimensionado de los elementos de la instalación en función del cálculo de cargas térmicas que deba combatir el sistema. El dimensionado y tipología de los equipos, deberá elegirse en función de los condicionantes que posea la edificación objeto de estudio, teniendo en cuenta la escala de la implantación (de forma individualizada por vivienda o de forma más comunitaria), los tipos de estancias a climatizar o la distribución de cargas.

Una vez definido el tipo de instalación, el sistema a utilizar y los equipos a instalar, también hay que tener muy presente la ubicación y configuración de los elementos de control de la instalación, desde los termostatos, la colocación de sondas exteriores e interiores para mejorar el confort y funcionamiento de la instalación e incluso la automatización de algunos procedimientos de maniobra de la instalación (como los procedimientos de encendido, apagado, etc.).

En el caso de que en el edificio objeto de rehabilitación existan ya sistemas de climatización, se debe de efectuar un correcto estudio de estos. Se deberá evaluar el funcionamiento de la instalación, analizando el rendimiento de los equipos, la idoneidad de la distribución de aire en las estancias, el adecuado funcionamiento de los sistemas de control, etc.

³⁴ Ver capítulo 1

Como se ha visto en puntos anteriores de este capítulo, las tipologías, equipos y sistemas de aire acondicionado que se pueden encontrar en edificaciones existentes es muy diversa, por lo que afrontar qué solución es la más adecuada en función de los diferentes casos de instalaciones existentes y sus posibilidades de rehabilitación puede ser inalcanzable. Aun así, se van a exponer algunos casos frecuentes en el mundo de la edificación residencial privada, proponiendo una serie de actuaciones que serían más eficientes. Pero en ningún caso se pretende establecer una solución única, sino mostrar posibilidades de rehabilitación de este tipo de instalaciones que se puedan implantar de forma sencilla e intentando reducir los costes de instalación y de mantenimiento.

Estas recomendaciones se van a dividir en dos grandes grupos, al igual que se han clasificado los sistemas de aire acondicionado.

9.4.1 ACTUACIONES DE REHABILITACIÓN ENERGÉTICA EN PEQUEÑOS SISTEMAS DE AIRE ACONDICIONADO

Cuando en la intervención se encuentran con sistemas existentes clasificados de esta forma, normalmente se refiere a sistemas mediante Split en sus diversas tipologías (suelo, pared o techo), donde se dispone de una unidad interior ubicada en la estancia a climatizar y otra unidad en el exterior de la edificación (normalmente en fachada o en la cubierta de la edificación).

Otra circunstancia es que se encuentre con unidades compactas (menos frecuentes por su antigüedad), donde en un único aparato engloba tanto la condensadora como la evaporadora. Estas tipologías suelen estar montadas en pared, a través de una apertura en la misma, por donde se producen infiltraciones incontroladas de aire e importantes pérdidas energéticas.

Por último, pueden estar instalados equipos portátiles³⁵, con algún tipo de instalación permanente o semi permanente, extrayendo el aire proveniente de la condensadora a través de un conducto que normalmente accede al exterior a través de alguna ventana.

En estas situaciones las actuaciones más frecuentes son las siguientes:

- Cuando se dispone con equipos con más de 10 años de antigüedad, lo más racional es la sustitución completa del equipo, tanto la unidad interior como la exterior. Se colocaría otra unidad más moderna con un rendimiento que seguro será mucho más alto que el inicialmente considerado. En este tipo de actuaciones hay veces que se puede aprovechar las conexiones de tuberías entre ambas unidades que configuran el circuito del refrigerante. En estas situaciones hay que comprobar que los diámetros de las conducciones son los adecuados y que el aislamiento de estas es el correspondiente. En caso contrario también se deberá sustituir el circuito del refrigerante y/o mejorar el material de aislamiento de este.
- En cualquier situación, si se van a sustituir equipos o mantenerlos porque son de colocación reciente, hay que comprobar si están correctamente instalados. La ubicación más racional, al igual que ocurre con los emisores de calefacción, es situarlos en las paredes más frías (en el caso de calefacción) o más calientes (en el caso de refrigeración). En general, estas paredes suelen ser las paredes exteriores de las estancias.
- Si estos sistemas están comandados por un termostato, hay que comprobar que la ubicación de este elemento sea la adecuada. Normalmente en estos sistemas el termostato o está en la propia unidad interior o en el mando a distancia de esta.
- En el caso de equipos compactos, debido a su antigüedad y a su disposición en un hueco en fachada, lo más racional es cambiarlo, colocando equipos más eficientes y de tipo partido (si no se va a colocar algún mediano sistema que climatice la totalidad de la vivienda). En estas actuaciones también se podrá cerrar el hueco en fachada donde estaba instalado, mejorando el comportamiento de la envolvente y reduciendo las infiltraciones no controladas del aire exterior.

9.4.2 ACTUACIONES DE REHABILITACIÓN ENERGÉTICA EN MEDIANOS SISTEMAS DE AIRE ACONDICIONADO

Cuando se dispone de medianos sistemas de aire acondicionado que climatizan la totalidad de una vivienda, los posibles sistemas que es posible encontrar aumentan. Lo más usual serán sistemas partidos de descarga en conductos, es decir, unidades exteriores que se unen a través del circuito del refrigerante con unidades interiores ubicadas en falsos techos y que descargan de forma indirecta en las distintas estancias de la vivienda a través de una red de conductos.

³⁵ Estos equipos portátiles también son conocidos como “pingüinos”.

En estas circunstancias, las actuaciones son semejantes a las anteriormente expuestas, es decir, si las máquinas tienen una antigüedad superior a los 10 años, es rentable que se produzca su cambio, ya que las máquinas más modernas van a tener rendimientos mucho más altos, lo que se va a traducir en máquinas de mucho menor consumo.

A este respecto, hay que tener también en cuenta las circunstancias de la red de conductos donde descarga la máquina que se pretende sustituir. Siempre es conveniente estudiar la forma de distribuir el aire para poder comprobar que la impulsión de este a las distintas estancias se realiza en las mejores condiciones, asegurando una correcta distribución de las temperaturas y evitando la formación de corrientes de aire que provoquen la aparición de zonas donde es patente el malestar de los usuarios.

En algunos de estos casos, será necesario (siempre que sea rentable económicamente), el repensar la distribución de los conductos y la posible ejecución de una nueva red de conductos que distribuya el aire de forma más racional por las estancias de la vivienda a climatizar. También hay que tener en cuenta que en algunas situaciones es posible encontrar con sistemas de climatización por conductos que presentan lesiones y/o fallos en su funcionamiento, ya que pueden presentar la salida de olores y otras circunstancias que justifiquen una actuación directa sobre la red de conductos. En muchas ocasiones estas actuaciones pasan por asegurar y reparar el sellado de los paneles que configuran los conductos y el adecuado tratamiento del retorno hacia la máquina, para evitar la salida de olores. Sea la patología que sea, siempre, cuando existen conductos que se quieren conservar, es necesario la realización de una adecuada limpieza y desinfección de estos para evitar la acumulación de polvo y otros residuos que puedan facilitar la aparición de moho y/o otros elementos contaminantes dañinos para los usuarios.

Otro de los inconvenientes que suelen presentar este tipo de instalación general por conductos es la ubicación del termostato que regula toda la instalación. Si este no está correctamente ubicado en una estancia central, con mayor uso (como puede ser el salón comedor), la instalación no podrá llegar a las condiciones de confort establecidas en dicho termostato, por lo que se deberá cambiar su ubicación a una con mayor efectividad en su funcionamiento.

Asimismo, y relacionado con esta última circunstancia, en la rehabilitación energética de estos sistemas por conductos, conviene sopesar la posibilidad de instalar sistemas multizona, sustituyendo no solo la máquina de aire acondicionado, sino también las rejillas de la instalación, en favor de otras con regulación electrónica y que se comuniquen con la máquina, de forma que sea posible su zonificación (al poder colocar termostatos en cada zona), aumentando no solo el confort de los usuarios, con la posibilidad de una regulación de temperatura por zonas, sino también el rendimiento de la máquina, al consumir únicamente la energía necesaria en base a los requisitos de cada zona y no únicamente de una zona principal, que puede estar sometida a cargas térmicas totalmente distintas³⁶ del resto de zonas.

Por último, de entre los sistemas que se encuentran frecuentemente en las viviendas, se puede mencionar a los sistemas tipo multi splits, donde una unidad exterior alimenta a varias unidades interiores.

En este tipo de montajes, las consideraciones para su rehabilitación o mejora pasan por las mismas circunstancias que ya se han mencionado.

- Por un lado, si la instalación cuenta con más de 10 años de antigüedad, podría ser rentable, desde el punto de vista del rendimiento, la sustitución de esta por nuevos aparatos de mayor rendimiento y por tanto de menor consumo energético.
- Si la instalación existente estaba configurada a dos tubos (ver final del punto 3 de este mismo capítulo), será interesante estudiar su reconfiguración a tres tubos para la colocación de sistemas CVR que hacen posible la producción de frío y calor a la vez.
- Este tipo de montaje encuentra su sentido en aquellas viviendas donde en periodos de primavera y otoño pueden tener cargas térmicas muy distintas en función de su orientación, configuración e incluso la composición de su envolvente. En este tipo de circunstancias, es posible que en distintas estancias de una misma vivienda se pueda contar al mismo tiempo con demandas de calefacción y refrigeración, para lo que una instalación a dos tubos no sería funcional, ya que sólo es capaz de proporcionar frío o calor en todas las máquinas interiores y sería conveniente entonces pasar a una instalación a tres tubos.

³⁶ En ocasiones se encuentran con viviendas cuyas demandas energéticas por cada una de las estancias varía mucho, como consecuencia de distintas orientaciones, superficies o cargas internas, por lo que las instalaciones multizona se adaptan mejor.

10.1 LAS ENERGÍAS RENOVABLES. DEFINICIÓN Y CARACTERÍSTICAS

La definición de energías renovables se estableció en la Directiva 2009/28/CE y que posteriormente se renovó con la Directiva 2018/2001/UE considerándose como fuentes de energía renovables las siguientes:

“energía eólica, energía solar (solar térmica y solar fotovoltaica) y energía geotérmica, energía ambiente, energía mareomotriz, energía undimotriz y otros tipos de energía oceánica, energía hidráulica y energía procedente de biomasa, gases de vertedero, gases de plantas de depuración y biogás.”

De entre estas fuentes de energía renovable, las que se pueden producir “in situ” o en el entorno de las edificaciones residenciales son la eólica, la solar, la geotérmica y la energía ambiente, siendo estas dos últimas fundamentalmente utilizadas en la implantación de bombas de calor (ver capítulos anteriores).

Hay que tener en cuenta que la característica principal de este tipo de fuentes de energía es que su impacto medioambiental es muy escaso, ya que además de no utilizar recursos energéticos finitos, como pueden ser los petrolíferos, apenas generan contaminantes. A este respecto, la utilización de energías de origen biológico (como la biomasa, los gases de vertedero, etc.), aunque en su combustión se generan gases contaminantes, al tratarse de reaprovechamiento o utilización la fracción biodegradable de los residuos, normativamente hablando están reconocidas como renovables, prestándose además a reducir la contaminación del medio ambiente emitiendo cantidades menores de CO₂ a la atmósfera.

En esta línea, siempre se propone que la utilización de este tipo de recursos biodegradables sea limitado y no se extienda más allá de su producción, es decir, que no se tengan que invertir en la generación de una mayor cantidad de este tipo de residuos, para así facilitar la tan ansiada reducción de gases de efecto invernadero a la atmósfera.

Otra de las características más representativas que pueden tener las energías renovables en general, es que, a pesar de necesitar instalaciones con cierto grado de inversión económica y técnica, estas fuentes de energía suelen ser más baratas que las energías fósiles.

De entre todas las energías renovables mencionadas al inicio de este apartado, las más usuales en la rehabilitación energética de edificaciones residenciales son la energía solar, la eólica y la energía ambiente.

La energía solar es la que más abunda y se puede obtener a través de la radiación directa del sol como de la indirecta aún en días nublados o en orientaciones o circunstancias donde no exista una incidencia directa de los rayos solares. Con tecnologías de captación de radiación solar, se puede convertir esta en energía eléctrica, térmica e incluso luminosa³⁷. En la actualidad, la mayoría del aprovechamiento del sol es a través de la utilización de paneles fotovoltaicos que generan electricidad o incluso la utilización de espejos que concentran los rayos solares en un punto para a través del calentamiento de agua poder generar energía eléctrica (centrales termoeléctricas). También se puede encontrar, en menor escala, paneles solares térmicos que aprovechan la radiación solar para calentar un fluido caloportador y transportar energía térmica a sistemas de generación de ACS o de calefacción.

Aunque la energía eólica tiene una presencia mucho menor en la rehabilitación energética residencial, cada vez se va abriendo más mercado, con la implantación de pequeños sistemas mini eólicos, que transforman la energía cinética del viento en electricidad. Aunque esta fuente energética puede ser más discontinua que la solar, puede funcionar perfectamente como complemento a la solar fotovoltaica, proporcionando un plus de producción eléctrica incluso por la noche en los periodos donde se produzca el viento suficiente.

Por último, y no menos importante, está el desarrollo tecnológico de sistemas que aprovechan la energía ambiente, ya sea proveniente del aire (aerotermia), del terreno (geotérmica) o del agua (hidrotermia). De entre estas, la más relevante es la aerotérmica, mediante el uso de bombas de calor (accionadas eléctricamente o a través de gas) que son capaces de extraer energía del aire ambiente exterior, para cederlo (junto con la energía proporcionada por el compresor) al aire interior de las viviendas mediante sistemas aire – agua o aire – aire.

³⁷ Se puede hablar de energía luminosa cuando se aprovecha la energía solar para iluminar de forma natural zonas de la edificación, como por ejemplo mediante ventanas, claraboyas u otros sistemas se puede encauzar la luz solar y aprovecharla para espacios que no tengan fachadas o cubiertas directamente al exterior.

10.2 LAS INSTALACIONES SOLARES TÉRMICAS. CARACTERÍSTICAS Y CONCEPTOS BÁSICOS PARA SU IMPLANTACIÓN EN EDIFICACIÓN EXISTENTE

Las instalaciones solares térmicas consisten en el aprovechamiento de la radiación solar para el calentamiento de un fluido caloportador que posteriormente se aprovechará para transportar la energía térmica generada a un sistema que la pueda aprovechar. Normalmente estos sistemas se destinan a cubrir parcialmente las demandas de generación de ACS, de calefacción e incluso se puede llegar a generar refrigeración³⁸ (con la utilización de sistemas de refrigeración por absorción).

Para su óptimo aprovechamiento se necesitará disponer de un sistema energético complementario, alimentado por una energía convencional que cubra las necesidades del usuario cuando la componente renovable (en este caso solar) sea insuficiente o no disponible. En el Documento Básico HE-4 inicial (anterior al vigente DB-HE 4 de 2019) este tipo de energía renovable era de implantación obligatoria en edificación nueva o rehabilitación (dentro de unos parámetros). En la versión actual del DB-HE 4, la fracción de energía renovable para la producción de ACS, puede venir de cualquier tipo de fuente de energía renovable, no únicamente de la solar térmica.

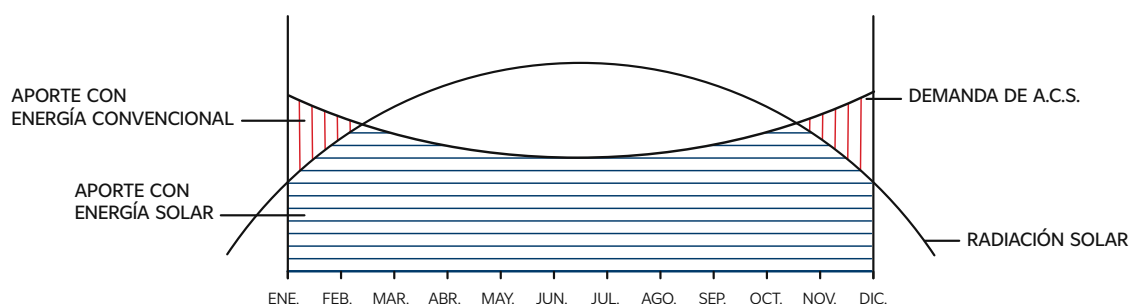


Figura 110. Distribución anual de la demanda y aporte solar para la producción de ACS.

Las instalaciones de paneles solares térmicos para apoyo a la producción de ACS, según el vigente DB-HE 4 deben de proporcionar entre el 60 y el 70%³⁹ de la energía necesaria para cubrir esta demanda (Figura 110), no exigiéndose cubrir en ningún momento la demanda de agua caliente para calefacción.

En esta última circunstancia, el porcentaje cubierto únicamente dependerá de las prescripciones técnicas y económicas que tenga en cuenta el proyectista de la instalación, en base al coste de esta, la superficie necesaria de cubierta para su implantación y el sistema de calefacción existente o a instalar.

10.2.1 SISTEMAS DE INSTALACIÓN CON APOORTE SOLAR TÉRMICO PARA ACS

Para que se pueda aprovechar la energía térmica solar, las instalaciones de captación pueden configurarse con múltiples posibilidades, en función del tipo de servicio (individual o colectivo), la forma de acumulación de la energía, la red de distribución de esta hacia las viviendas, y un largo etc. de condicionantes.

A continuación, se muestran los esquemas más usuales de este tipo de instalaciones y que se pueden implantar en la rehabilitación energética de edificación residencial.

10.2.1.1 Esquemas Tipo

La producción de agua caliente sanitaria en edificios de viviendas mediante la utilización de energía solar y convencional puede realizarse siguiendo diferentes esquemas. No obstante, en todos ellos pueden identificarse las siguientes partes esenciales (Ver Figura 111).

³⁸ Los sistemas de refrigeración por absorción son poco frecuentes y se desarrollan fundamentalmente en grandes sistemas. El avance de la tecnología hará que en unos años la posible implantación de estos sistemas en viviendas sea más factible.

³⁹ Según el punto 3 del DB-HE 4 de 2019, cuando la demanda de ACS sea inferior a los 5000 l/día y/o no se sirva para la climatización de piscinas, el porcentaje cubierto será del 60%. En el resto de los casos el porcentaje cubierto será del 70%.

- Un subsistema de captación, que recibe la energía del sol y la transmite al fluido caloportador que la transporta hasta los elementos de intercambio y acumulación.
- Un subsistema de intercambio y acumulación, cuya finalidad es producir y almacenar agua caliente para utilizarla cuando se produzca su demanda.
- Un subsistema de apoyo a partir de energía convencional, que aporta la energía adicional necesaria para garantizar la disponibilidad permanente del servicio de agua caliente, incluso cuando no existe aportación energética del sistema de captación solar.
- Existen elementos de regulación que se encargan de hacer actuar los diferentes componentes de la instalación de forma adecuada, con la finalidad de garantizar la calidad del servicio de agua caliente aprovechando al máximo la energía solar disponible.

Uno de los elementos más importantes de regulación es una válvula de tres vías que se coloca antes de la alimentación del sistema de apoyo (y que puede estar integrada dentro de este) que evita los sobrecalentamientos en el agua caliente que se lleva al sistema de apoyo. Es decir, si el agua que le llega al sistema de apoyo está a una temperatura mayor a la consignada, esta válvula la mezclará con agua fría para reducir su temperatura.

Hay que tener en cuenta que según lo establecido en el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE), en su IT 1.2.4.4. "Las instalaciones solares de más de 20 m² de superficie de apertura dispondrán de un sistema de medida de la energía final suministrada, con objeto de poder verificar el cumplimiento del programa de gestión energética y las inspecciones periódicas de eficiencia energética especificados en la IT 3.4.3 y en la IT 4.2.1".

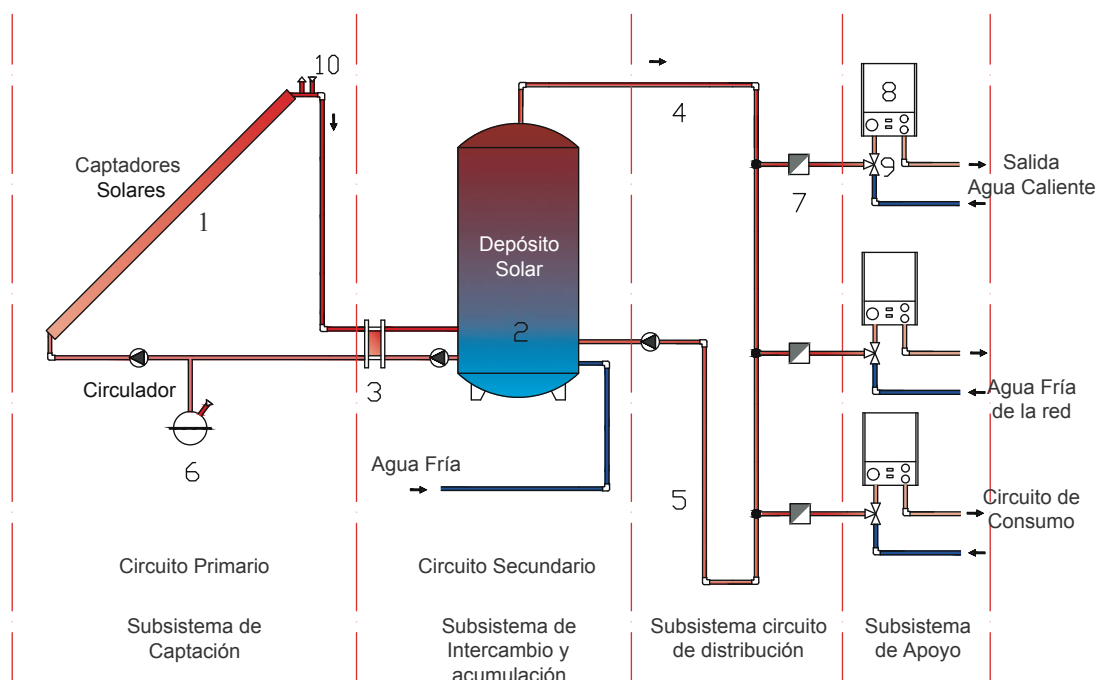


Figura 111. Acumulación solar centralizada y apoyo individual. Partes de una instalación de energía solar térmica para apoyo del ACS..

Cuando se trata de rehabilitación energética, en base al alcance que vaya a tener la intervención sobre las instalaciones de ACS o calefacción, la colocación de este tipo de instalaciones puede ser más simple o compleja. Además, también va a depender de si la intervención se va a realizar en todo el edificio o únicamente en una de sus viviendas.

Si la utilización de energía solar térmica se va a implantar en una edificación completa con varias viviendas, pueden utilizarse diversos esquemas de funcionamiento de la instalación. Entre los más usuales, está el expuesto en la Figura 111, donde la producción y la acumulación de la energía se realizan de forma colectiva y mediante un subsistema de distribución se lleva la energía directamente a cada una de las viviendas. Este esquema requiere la colocación de contadores energéticos para repartir los costes proporcionalmente entre los usuarios, tal y como se exige en el RITE. Esta configuración apenas afecta a la disposición de instalaciones de cada una de las viviendas, ya que únicamente es necesaria la

alimentación al sistema de apoyo individual de cada vivienda y la colocación de los contadores energéticos, que usualmente se colocan en las zonas comunes de la edificación, concretamente en los falsos techos de las zonas comunes de acceso a las viviendas.

10.2.1.2 Configuraciones multifamiliares

Aunque una de las opciones más usuales es la expuesta en el punto anterior, la adopción de esta configuración va a depender de la posibilidad de disponer de espacios comunes que alberguen las dos primeras partes del sistema, concretamente la parte de la captación solar y la parte de intercambio energético y acumulación.

Para albergar el subsistema de intercambio y acumulación mencionado, es necesario disponer de un espacio cerrado, protegido y accesible para albergar estas instalaciones. Que además representan una importante carga (peso) a tener en cuenta en la estructura existente de la edificación. Hay que tener presente que la acumulación (según lo que se indicaba en la versión de 2013 del DB-HE 4) suele estar entre el 80% y el 100% de la demanda diaria de ACS, por lo que en un edificio de 10 viviendas con 3 dormitorios cada una de ellas, se contaría con 40 personas, que a una demanda de 28 l/día, configurarían un total de: $40 \times 28 \text{ l/día} = 1120 \text{ l}$. Por lo que se necesitaría un depósito de acumulación de unos 1100 litros, con la subsiguiente sobrecarga que supondría a la estructura de la edificación.

Si no se puede disponer de un sistema de acumulación general en las zonas comunes de la edificación (generalmente en cubiertas) existen otras opciones:

- **Acumulación solar individualizada con apoyo individual.** En este tipo de configuración, la acumulación de energía se realiza de forma individualizada, de forma que el circuito primario del subsistema de captación debe circular hasta cada una de las viviendas, donde se dispondrá de un acumulador individual, tal y como se puede observar en la ilustración siguiente (Figura 112).

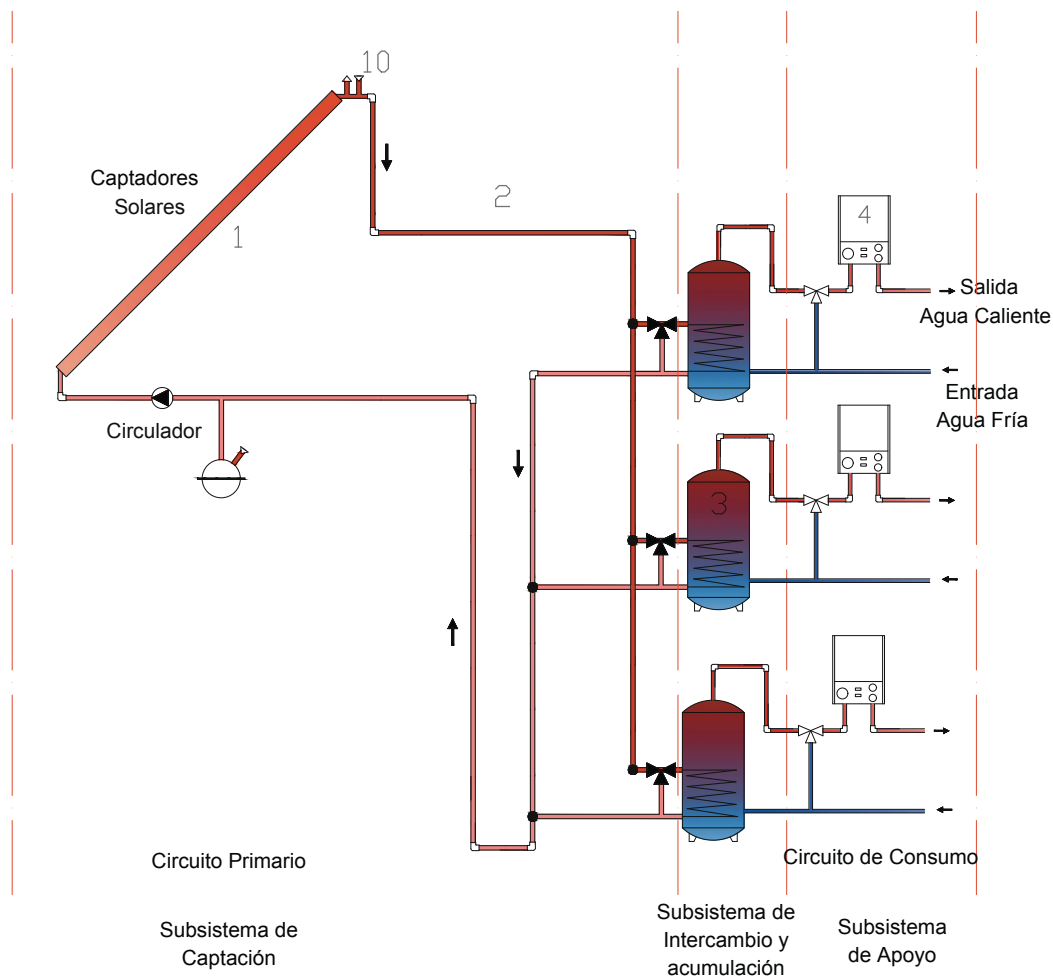


Figura 112. Disposición con acumulación solar individualizada.

El consumo de agua caliente de cada vivienda procede exclusivamente de su acometida particular. El consumo de energía en la caldera o calentador mural es también individual.

Por la sencillez puede ser el sistema más utilizado, aunque al tratarse de mucha longitud de circuito primario, la cantidad de anticongelante que llevará éste, será muy elevada. Sin embargo, es el sistema más equitativo, cada vivienda tiene su reserva de energía.

En este tipo de esquemas, la distribución del circuito primario se suele hacer con retorno invertido (tal y como se muestra en la imagen), para así equilibrar de una forma más sencilla la cantidad de energía que se le envía a cada una de las viviendas. Es importante recordar, que el circuito primario va a circular en parte por el exterior y en parte por el interior de la edificación, por lo que es recomendable conservar el mismo espesor de aislamiento en todo su trazado, para así poder minimizar las pérdidas energéticas en la distribución.

- **Acumulación solar mixta con apoyo individual.** Estas configuraciones son posibles cuando se dispone de un mínimo espacio comunitario en el cual se puede ubicar una parte de la acumulación solar, mientras que la otra se deriva a cada una de las viviendas o se sustituye esta última parte por un intercambiador de placas externo que ocupa menos espacio que la colocación de un depósito individual. Estas opciones se encuentran en la Figura 113.

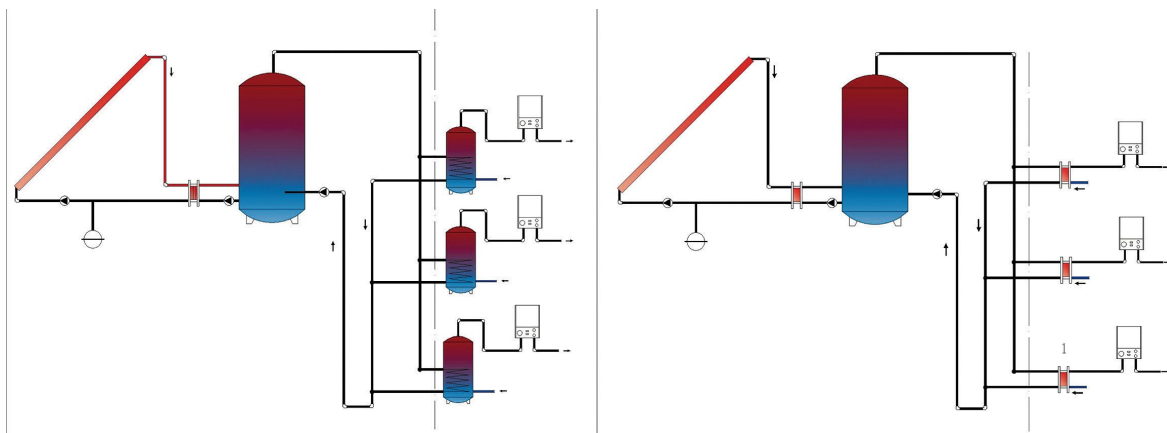


Figura 113. Esquema de acumulación mixta y apoyo individual.

10.2.1.3 Configuraciones individuales

En el caso de rehabilitación energética de viviendas unifamiliares o la rehabilitación de viviendas dentro de un bloque, la aplicación de estos sistemas de aprovechamiento de energía renovables también es posible en función de una serie de condicionantes.

Para viviendas unifamiliares los condicionantes fundamentalmente son los debidos a la colocación de las placas solares en la cubierta de la edificación, que será más o menos compleja en función del tipo de cubierta y la disponibilidad de espacio en la misma. Hay que recordar que es necesario colocar los paneles solares térmicos accesibles por el usuario, para su inspección y limpieza periódica para poder así aprovechar al máximo su rendimiento y efectuar las correctas tareas de mantenimiento.

En edificación en bloque, uno de los principales problemas que se pueden producir en la ejecución de este tipo de instalaciones, es por un lado la ubicación de los captadores en la cubierta comunitaria con el correspondiente permiso de la comunidad de propietarios. Por otro lado, otra de las mayores dificultades a salvar, es la disposición de la red de tuberías que abastecerá dicha instalación, siendo normalmente necesaria la disposición de una ida de agua fría para alimentar al subsistema de intercambio y acumulación y otra de agua caliente, proveniente de este subsistema y que alimentará al sistema de producción de ACS de la vivienda a rehabilitar.

Hay que recordar, que todas las conducciones que forman parte de estos sistemas de aprovechamiento de energía solar térmica deben ir adecuadamente aisladas, ya estén ubicadas en exteriores o en interiores, para así reducir las pérdidas energéticas.

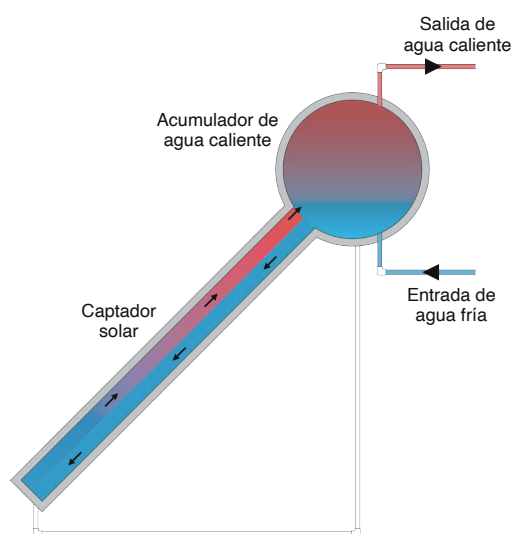


Figura 114. Esquema de funcionamiento de un termosifón.

Las configuraciones posibles son sensiblemente semejantes a las mostradas en apartados anteriores, donde normalmente el depósito de acumulación solar se ubica en cubierta, cerca del sistema de captación. Si no existe la posibilidad de colocarlo en una estancia protegida, se deberán utilizar sistemas de acumulación aislados adecuadamente y preparados para ser ubicados en exteriores.

Otra opción muy usual en la rehabilitación energética de viviendas, tanto individuales como unifamiliares, es la utilización de sistemas monobloc o prefabricados, que únicamente necesitan una conexión de agua fría de entrada y otra de agua caliente de salida (Figura 114). Estos sistemas se denominan comercialmente *termosifones*, ya que es su principio de funcionamiento. Poseen un depósito de acumulación de energía encima o debajo de la placa de captación solar. Este elemento dispone de un intercambiador interno, de forma que el circuito primario con anticongelante es muy reducido y por lo tanto la cantidad de éste necesaria es muy reducida.

10.2.2 LOS CAPTADORES SOLARES. TIPOLOGÍAS Y CONSIDERACIONES

En el mercado existen distintos tipos de captadores solares térmicos, los más usuales son los denominados *captadores solares planos* constituidos básicamente por una caja dotada de aislamiento térmico en su base y laterales donde se sitúa una parrilla de tubos por donde discurre el agua con anticongelante, y la caja está cubierta por una lámina transparente plástica que favorece que se produzca el efecto invernadero, para que la radiación que incide sobre la misma no pueda salir. La zona de la parrilla de tuberías está revestida con un absorbedor metálico encargado de transformar la radiación solar en energía térmica que se transmite al fluido caloportador.

El rendimiento de un captador solar se define como el cociente entre la cantidad de energía que se obtiene Q_u , (es decir, el calentamiento que experimenta el agua o fluido caloportador que circula por su interior) y la cantidad de energía recibida (es decir, la radiación solar incidente sobre el captador) Q_r . Este rendimiento no es constante, dependiendo de la radiación incidente, la temperatura exterior y la temperatura de uso del agua (ver curva del fabricante).

Otra de las tipologías que se puede encontrar en captadores solares térmicos, son los *captadores solares de tubos de vacío*, que poseen más rendimiento que los anteriores y por tanto se pueden utilizar en zonas con menores índices de radiación solar o cuando no se dispone de mucho espacio en cubierta y se quiere alcanzar la máxima captación de energía posible. Estos colectores están formados por una serie de tubos de vidrio al vacío con una placa reflectante en que tienen en su interior una tubería por donde discurre el fluido caloportador. El rendimiento de este tipo de colectores puede llegar a ser un 150% mejor que el de los captadores planos, aunque su coste de implantación es mayor.

También existen en el mercado otros tipos de paneles solares térmicos, de menor implantación por sus costes, pero interesantes en casos donde la disposición de espacio y/o requisitos de aporte energético pueden hacerlos convenientes.

Una de estas tipologías son los captadores solares termodinámicos, compuestos por paneles mucho más finos por donde discurre un fluido refrigerante (sin agua) que es capaz de extraer energía del ambiente sin necesidad de estar expuesto directamente al sol, por lo que pueden incluso instalarse en zonas sombreadas, en paredes verticales o en otros lugares, aunque lo ideal es que reciba el máximo soleamiento posible.

Su principio de funcionamiento es semejante a una bomba de calor, de hecho, se pueden utilizar como complemento a la instalación de estas. Al calentarse el fluido que discurre por el panel se transforma en gas que es enviado al bloque termodinámico, donde con la ayuda de un compresor vuelve a estado líquido y a alta temperatura para posteriormente intercambiar la energía con el agua que se quiere calentar. La instalación de este tipo de paneles, aunque exteriormente sea incluso más sencilla que los tradicionales, requiere la instalación en interiores, del depósito de acumulación de energía y del compresor necesario para el sistema. También hay que tener en cuenta que el compresor consume energía eléctrica en su funcionamiento.

En los últimos años están apareciendo en el mercado sistemas híbridos que implantan en el mismo elemento paneles térmicos y fotovoltaicos, que logran aprovechar el mejor rendimiento de los paneles térmicos para reducir la temperatura de los fotovoltaicos y poder mejorar así también la producción de energía eléctrica. Estos sistemas están aún en desarrollo, por lo que es de suponer que en unos años su rendimiento y coste podrá hacerlos interesantes en la implantación tanto en obra nueva como en rehabilitación energética.

10.2.2.1 Instalación de los colectores solares

La instalación de los colectores solares va a depender fundamentalmente del tipo de cubierta existente. En el caso de cubiertas planas, la instalación de los colectores normalmente se realiza mediante el montaje de estos sobre estructuras metálicas (de acero galvanizado o inoxidable) que suelen ir suministradas por el propio fabricante y algunas de ellas permiten elegir la inclinación del panel.

La orientación del panel es obvia, cuanto más al sur, mejor, aunque desvíos de $\pm 15^\circ$ respecto al sur producen pequeños porcentajes de pérdidas. Sin embargo, con respecto a la inclinación, lo ideal es que esta sea igual a la latitud geográfica en casos de uso anual constante. Si la instalación se va a usar fundamentalmente para usos en invierno se debería añadirle a la latitud 10° en su inclinación y si se va a utilizar únicamente en verano, restarle 10° .

En cubiertas inclinadas, la definición de la orientación e inclinación de las placas va a depender de la propia inclinación y orientación de los faldones de la cubierta, lo que hace que este tipo de instalaciones estén más limitadas en su disposición. En este tipo de cubiertas, el sistema de anclaje va a depender del tipo de cobertura y de su resistencia mecánica, no siendo aconsejable su instalación en coberturas que no garanticen una adecuada resistencia al peso que se le va a añadir y a las posibles cargas que pueda suponer el mantenimiento de las placas.

Por otro lado, tanto en cubiertas inclinadas como en planas, se ha de tener en cuenta las posibles sombras que puedan afectar a la captación solar de los paneles. Los captadores deberán separarse suficientemente de los obstáculos próximos que puedan proyectar sombras sobre ellos (muretes, chimeneas de ventilación, otras filas de captadores, etc.).

El valor de esta distancia d_s , medida sobre la horizontal, para determinar la distancia entre un obstáculo y un panel de captación solar térmica puede calcularse mediante la siguiente expresión:

$$d_s = K \times h = \frac{1}{\tan(67 - \text{latitud})} \times h \quad (m) \quad (14)$$

Siendo:

d_s = distancia de separación entre obstáculo y captador, en metros.

h = altura del obstáculo considerado, en metros.

$$K = \frac{1}{\tan(67 - \text{latitud})}$$

En el caso de varias filas de captadores, la distancia mínima entre las bases de captadores será igual o mayor al valor obtenido mediante la ecuación 15 (ver Figura 115).

$$D = d_p + (L \cos \beta) = (K \times L \sin \beta) + (L \cos \beta) \quad (m) \quad (15)$$

Siendo:

d_p = distancia mínima entre la parte superior de una batería de captadores y la parte inferior de la siguiente. ($d_p = K \times h$) = ($K \times L \sin \beta$), en metros.

L = longitud del captador, en metros.

β = ángulo de inclinación del captador.

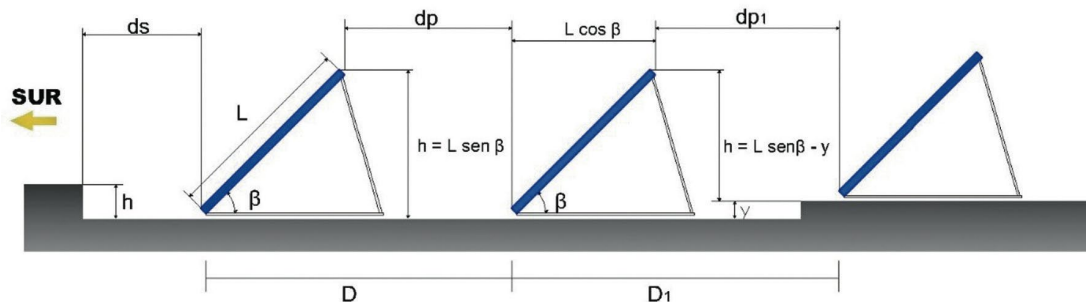


Figura 115. Distancias entre paneles y entre paneles y obstáculos.

Otra de las consideraciones en la instalación de paneles solares térmicos, es la forma de su interconexión cuando la instalación cuenta con más de un panel. Los captadores solares se conectan hidráulicamente en grupos para formar el campo de captación solar. Es muy importante que esta conexión se realice en paralelo, nunca en serie, ya que, si se conectan en serie, el líquido refrigerante calentado por el sol pasará de un captador a otro, recogiendo aún más energía de la máxima esperada, con el subsiguiente aumento de volumen que podría provocar daños en el campo de captación o en otros elementos de la instalación.

Para la producción de ACS, lo más adecuado es disponer los captadores conectados en paralelo, formando filas que a su vez se conectan entre sí también en paralelo (Figura 116), ya que en serie disminuye su rendimiento.

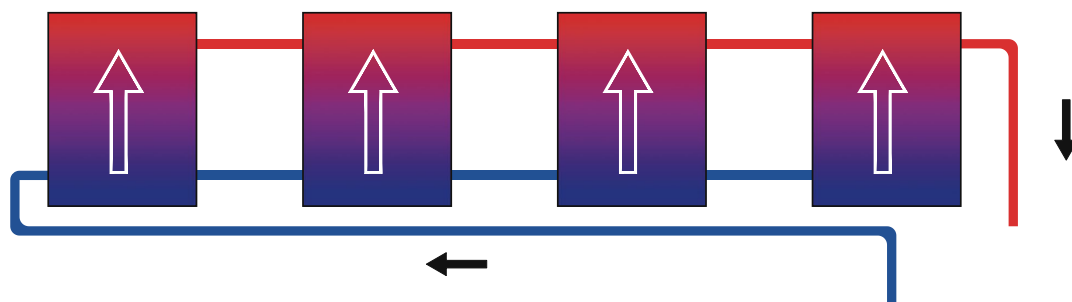


Figura 116. Esquema de conexionado de paneles en paralelo.

El número de captadores que pueden conectarse en paralelo en un mismo grupo es una información que debe ser suministrada por el fabricante. Se desaconseja la conexión de más de 8 captadores solares en un mismo grupo. Si se supera este número el caudal no se reparte homogéneamente por todos los captadores y, por tanto, disminuya la productividad energética del conjunto. Los captadores se dispondrán en filas con igual número de unidades, debiendo ser estas paralelas, horizontales y bien alineadas. Podrán situarse tanto en vertical como en posición horizontal.

Una vez situado el campo de captadores, si este consiste en varios grupos de captadores, el conexionado entre ellos se deberá realizar de forma que cada captador o grupo de estos reciba el caudal para el cual ha sido diseñado, y podrán situarse tanto en vertical como en horizontal.

Una forma de asegurar un adecuado reparto del caudal entre los diferentes grupos de captadores es la utilización de válvulas de equilibrado hidráulico, aunque algunos fabricantes no lo aconsejan. Estas válvulas también permiten además medir el caudal circulante por cada tramo de tubería.

En las primeras versiones del CTE, se proponía el equilibrado mediante los recorridos de tubería, con "retorno o ida invertida", es decir, diseñando el trazado del circuito de modo que haya recorridos de igual longitud de tuberías (Figura 117 y Figura 118). Si se cumple esta condición y la pérdida de carga unitaria por metro de tubería no presenta grandes diferencias entre los diferentes tramos, el circuito queda equilibrado, y pasará por ellos el mismo caudal.

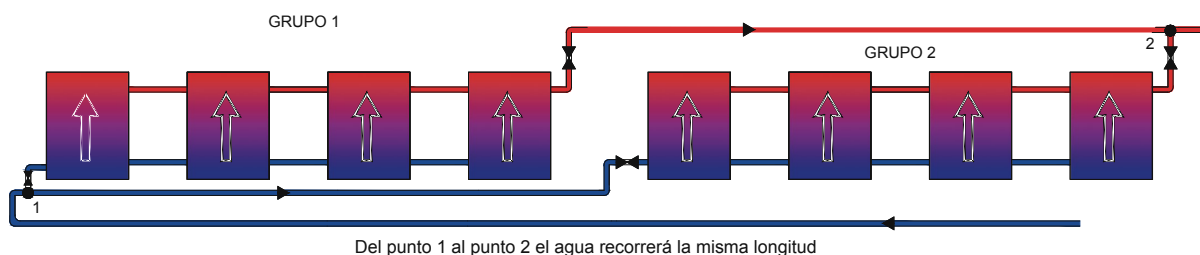


Figura 117. Coconexionado de dos grupos de captadores con retorno ida invertida.

A efectos de minimizar las pérdidas entre grupos, los circuitos que se equilibran son los situados antes de la entrada a los captadores, ya que son los que se encuentran a menor temperatura. Deberán instalarse válvula de corte a la entrada y salida de los distintos grupos de captadores.

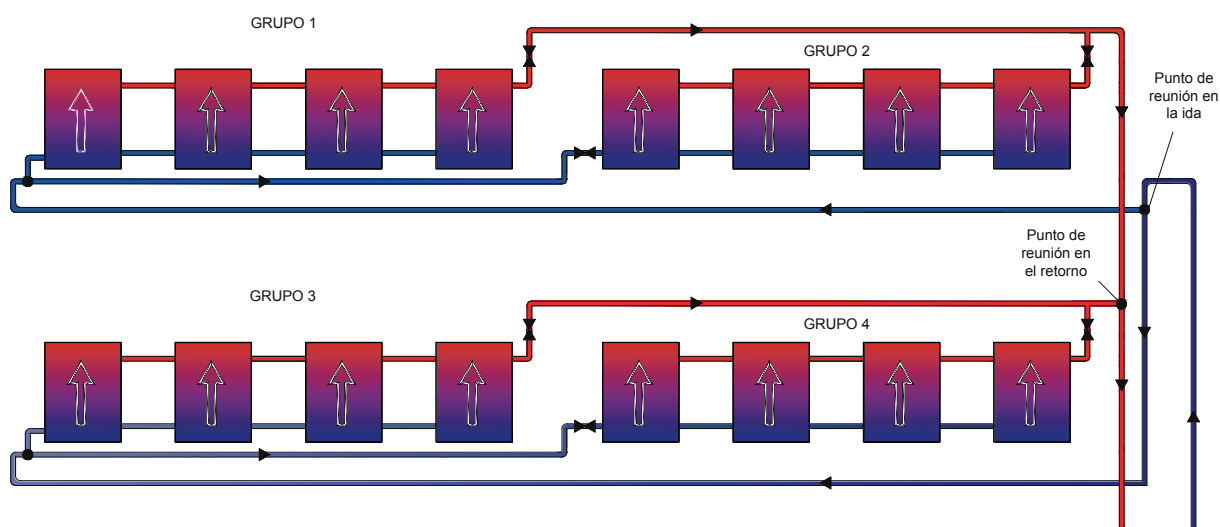


Figura 118. Conexión en paralelo de cuatro grupos de captadores con ida invertida.

A la salida de cada grupo de captadores, se instalará un purgador de aire automático situado normalmente sobre botellines de aireación y asimismo válvulas de seguridad también a la salida de cada grupo.

Toda esta instalación se debe de aislar adecuadamente siguiendo los preceptos establecidos en el RITE para tuberías de este tipo. Es importante que el aislamiento utilizado en las tuberías que discurren por el exterior de las edificaciones sea el correcto, ya que deben ser resistentes a las inclemencias meteorológicas y principalmente a la radiación solar. Si se utilizan materiales no resistentes a los rayos UV se deberán proteger adecuadamente con revestimientos metálicos y/o plásticos que sean adecuados a la radiación ultravioleta.

Por otro lado, en zonas climáticas con altos niveles de radiación solar en verano, donde las demandas de ACS se reducen, se deberá prever la posibilidad de tapar y/o anular parte de la instalación, para que los niveles de producción energética no sean superiores a las demandas, ya que, en caso contrario, los aumentos de volumen del líquido caloportador pueden ser demasiados para poder absorberlos adecuadamente en el vaso de expansión del que está dotada la instalación. Existen soluciones en el mercado, que en situaciones como la indicada, son capaces, de forma automática, de vaciar total o parcialmente la instalación, para evitar sobrecalentamientos y posibles daños en algún elemento de esta.

10.2.3 APOORTE SOLAR TÉRMICO PARA INSTALACIONES DE CALEFACCIÓN

La energía térmica proporcionada por el sol en este tipo de paneles, también se puede aprovechar como un apoyo a los sistemas de calefacción utilizados o a utilizar en la vivienda. Independientemente de cuál sea su generador (caldera, aerotérmica, etc.), y siempre y cuando se trate de sistemas con distribución de agua caliente.

Como ya se ha mencionado en el capítulo de instalaciones de calefacción convencionales, los sistemas más extendidos de calefacción en el sector residencial pueden clasificarse en función de la temperatura de distribución del agua caliente, que puede ser a baja temperatura (35 – 55 °C) o a media temperatura (70 – 90 °C).

Por las características de los sistemas de captación solar y la temperatura del agua que se puede generar con estos elementos, los sistemas más adecuados para considerar un adecuado apoyo solar son los sistemas que funcionan a baja temperatura, ya que se puede extraer mucho más rendimiento con este tipo de apoyos.

En este tipo de instalaciones, se puede considerar una media de un 10% de superficie de paneles solares sobre la superficie de vivienda a calefactar. Por ejemplo, si se dispone de una vivienda de unos 100 m² se necesitará como media, aproximadamente 10 m² de paneles solares para apoyo a calefacción, consiguiendo reducir entre un 20 a un 35% (según zona climática) el consumo energético del sistema.

Hay que tener presente, que se pueden tener dos tipos de configuraciones en estas instalaciones. Por un lado, que el campo de captadores se utilice para cubrir parte de la demanda de calefacción y parte de la de ACS o, por otro lado, que se dispongan de campos de captadores distintos para cada una de las demandas expuestas.

En el primer caso, hay que tener en cuenta que se necesitarán equipos que cuenten con sistemas de acumulación de energía independientes, colocando dos depósitos, uno para calefacción y otro para ACS de forma que tanto la acumulación energética como su distribución sean autónomas. En estos casos, en época de verano, donde la instalación de calefacción no se utiliza, el campo de captadores será excesivo para cubrir únicamente la demanda de generación de ACS, por lo que se deben de prever procedimientos para reducir la captación de energía, bien en base a la anulación de parte de la captación (por ejemplo, tapando los captadores) o vaciando sectores de la instalación (drenajes).

En el segundo caso, cuando se tienen campos de captadores separados (unos para apoyar al ACS y otros para calefacción), la parte de la instalación destinada a apoyo de calefacción se detendrá en cuanto se termine la temporada, llegándose a vaciar normalmente toda la instalación. Incluso se deberán proteger los captadores cubriéndolos para evitar que la radiación solar del verano pueda causar daños por dilatación en elementos mecánicos de la misma.

También hay que tener presente, tal y como ya se ha mencionado anteriormente que, en este tipo de instalaciones para apoyo de calefacción, para poder mejorar su rendimiento, la inclinación de los paneles solares se aumenta ligeramente, para mejorar el aprovechamiento solar de invierno, siendo lo ideal una inclinación igual a la latitud geográfica más 10°.

10.3 LAS INSTALACIONES FOTOVOLTAICAS Y EL AUTOCONSUMO ELÉCTRICO

La instalación de placas solares fotovoltaicas para autoconsumo eléctrico en la edificación residencial ha tenido en los últimos años un crecimiento importante en función de los costes de la energía eléctrica. En los periodos de mayor coste económico de la energía, la implantación de este tipo de energía renovable ha experimentado un crecimiento muy alto, no así en los periodos donde el coste de la energía eléctrica estaba más contenido.

Esto es debido a que la amortización de este tipo de instalaciones va a depender, en gran medida, de los costes de compra de la energía eléctrica. De todas formas, hay que tener en cuenta que el autoconsumo fotovoltaico, además de generar ahorros económicos al reducir el consumo eléctrico, puede mejorar la eficiencia energética de las edificaciones, al reducir el consumo de energía primaria no renovable.

En la actualidad, el DB-HE 5 *Generación mínima de energía eléctrica procedente de fuentes renovables*, de CTE de 2019, hace obligatorias este tipo de instalaciones en edificios de nueva construcción cuando se superen los 1.000 m² de superficie construida total (incluyendo sótanos de garaje), haciendo extensiva esta exigencia a edificación existente que se reforme íntegramente o en los que se produzca un cambio de uso, también cuando se supere los 1.000 m² de superficie construida.

La cantidad de potencia a instalar en estos casos es relativamente pequeña, ya que según el citado DB-HE 5 de 2019, será la menor de las siguientes dos expresiones:

$$P_1 = F_{pr;el} \times S \quad (kW) \quad (16)$$

$$P_2 = 0,1 \times (0,5S_c - S_{oc}) \quad (kW) \quad (17)$$

Siendo:

$F_{pr;el}$ = factor de producción eléctrica, que toma valor de 0,005 para uso residencial privado y 0,010 para el resto de usos (kW/m²).

S = superficie construida del edificio (m²).

S_c = superficie de cubierta no transitable o accesible únicamente para conservación (m²).

S_{oc} = superficie de cubierta no transitable o accesible únicamente para conservación ocupada por captadores solares térmicos (m²).

Si se considera un edificio residencial privado de 1.000 m², la primera de las expresiones nos daría una potencia mínima de $P = 0,005 \times 1000 = 5$ kW.

Como se puede observar, un edificio residencial privado de entre 5 y 10 viviendas (en función de si hay bajos comerciales y sótanos de garaje), puede alcanzar la superficie mínima establecida en la reglamentación. Pero como se puede observar la potencia mínima a instalar es bastante baja y se destinaría para el autoconsumo de los elementos comunes de la edificación, como alumbrado de escaleras, alimentación de ascensor, sistemas de bombeo, etc., no considerándose en este apartado del DB-HE el autoconsumo para las viviendas.

El autoconsumo fotovoltaico se regula por el Real Decreto 244/2019, de 5 de abril, *por el que se regulan las condiciones administrativas, técnicas y económicas del autoconsumo de energía eléctrica*, que establece, en su artículo 4, los siguientes tipos de autoconsumo, son los que se definen a continuación:

- **Autoconsumo sin excedentes:** que son aquellas instalaciones que no vierten ningún tipo de excedente a la red eléctrica, disponiendo de un sistema antivertido.
- **Autoconsumo con excedentes:** donde el excedente de energía eléctrica producida por los paneles solares fotovoltaicos se vierte a la red eléctrica. Según el tratamiento de los excedentes se clasifican en:
 - **Modalidad con excedentes acogida a compensación:** Los vertidos eléctricos que se realizan a la red son compensados económicamente en la factura del usuario, no siendo posible la obtención de facturas negativas. Existen compañías que ofrecen servicios de “monedero virtual” o “batería virtual” donde se pueden acumular excedentes para compensarlos económicamente en próximas facturas. Hay que tener en cuenta que esto es debido al denominado “límite de compensación” que supone que no se podrá compensar económicamente con un valor superior al de los kWh que se han consumido de la red.
 - **Modalidad con excedentes no acogida a compensación:** Cuando no se cumplen los requisitos para estar acogido a compensación o el usuario renuncia voluntariamente a dicha compensación.

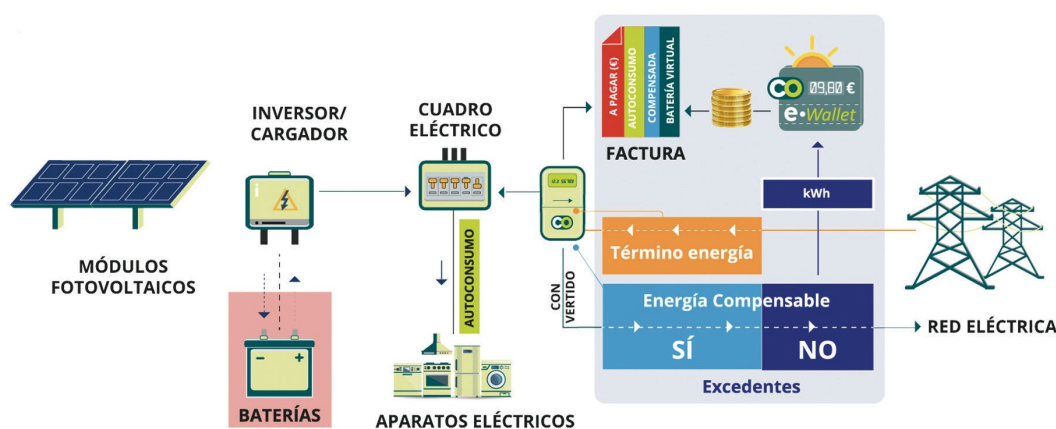


Figura 119. Esquema de una instalación de autoconsumo fotovoltaico. (Fuente: Enercoop).

La energía producida por un sistema de autoconsumo (Figura 119) lo que hace es reducir la cantidad de energía que se compra en la red, disminuyendo así la cantidad de kWh que se facturan, asegurando que una parte del consumo eléctrico de la edificación proviene de fuentes renovables producidas en el entorno, y que por tanto pueden compensar el consumo energético considerado en la clasificación energética de la misma.

Al mismo tiempo, el propio Real Decreto 244/2019, en el mismo artículo 4, establece que adicionalmente las modalidades de autoconsumo, también pueden clasificarse en autoconsumo individual o colectivo, en función de si uno o varios usuarios están asociados a una determinada instalación de generación fotovoltaica.

Este Real Decreto se modificó por el Real Decreto-ley 20/2022, de 27 de diciembre, de medidas de respuesta a las consecuencias económicas y sociales de la Guerra de Ucrania y de apoyo a la reconstrucción de la isla de La Palma y a otras situaciones de vulnerabilidad, que en su artículo 18 modifica al RD 244/2019 indicándose:

“También tendrá la consideración de instalación de producción próxima a las de consumo y asociada a través de la red, aquella planta de generación que empleando exclusivamente tecnología fotovoltaica ubicada en su totalidad en la cubierta de una o varias edificaciones, en suelo industrial o en estructuras artificiales existentes o futuras cuyo objetivo principal no sea la generación de electricidad, esta se conecte al consumidor o consumidores a través de las líneas de transporte o distribución y siempre que estas se encuentren a una distancia inferior a 2000 metros de los consumidores asociados. A tal efecto se tomará la distancia entre los equipos de medida en su proyección ortogonal en planta.”

Esta última modificación legislativa, donde pasa de 500 m a 2000 m, la distancia entre el punto de generación y el punto de suministro para considerarse autoconsumo, con lo que, a raíz de este cambio reglamentario, han podido surgir instalaciones donde usuarios situados en el entorno de una instalación fotovoltaica, se pueden beneficiar de esta en la modalidad de autoconsumo.

En estas situaciones, se pueden crear las denominadas *comunidades energéticas* donde una comunidad de vecinos o incluso barrio pueden beneficiarse colectivamente de las mismas instalaciones de producción fotovoltaica.

10.3.1 CONSIDERACIONES EN LA IMPLANTACIÓN DE INSTALACIONES FOTOVOLTAICAS

Para la implantación de instalaciones fotovoltaicas, hay que tener en cuenta básicamente las mismas consideraciones que para las instalaciones solares térmicas, aunque se debe de contar con que estas instalaciones suelen ocupar mucha más área de cubierta.

Con respecto a la colocación de paneles solares fotovoltaicos, su orientación, siempre que sea posible, se debe realizar hacia el sur, aunque desvíos menores de 20° apenas producen pérdidas de producción. En ocasiones, y en función de la orientación de las cubiertas, hay situaciones en que la instalación debe de estar orientada al este o al oeste. En estos casos no se podrán obtener las máximas producciones energéticas, pero se pueden compensar aumentando la cantidad de paneles de la instalación.

La inclinación del panel, igual que ocurre con las instalaciones térmicas, va a depender del tipo de consumo que se tenga y del periodo de tiempo donde más se utilicen. En la Tabla 15, se muestra una aproximación en algunos casos:

Tabla 15. Inclinación recomendada de los paneles solares fotovoltaicos en función del tipo de consumo y el periodo de uso.

Tipo de consumo	Periodo de uso	Inclinación
Consumo eléctrico constante	Anual	Latitud vivienda + 10°
Consumo fundamentalmente en verano	Anual	Latitud vivienda
Consumo eléctrico constante	Fundamentalmente en primavera, verano y otoño	Latitud vivienda – 10°
Consumo eléctrico constante	Verano	Latitud vivienda – 20°

Como se puede ver en la Figura 120, si se tienen usos más importantes en verano, el captador estará más plano, ya que el sol transita el horizonte a una altura mayor, mientras que en invierno el sol transita a una altura más pequeña y se necesita que las placas estén con una mayor inclinación.

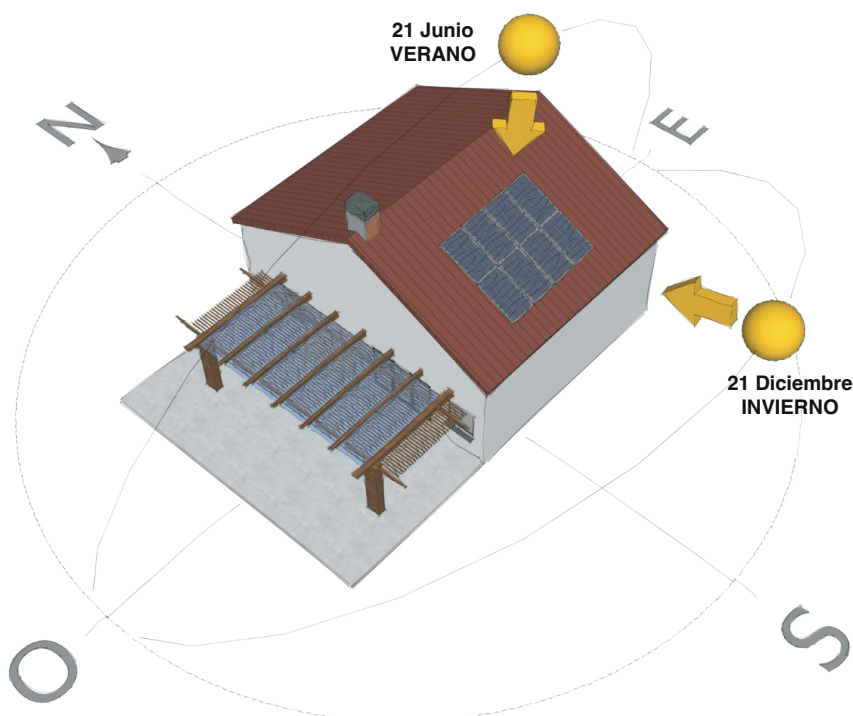


Figura 120. Inclinación solar en los periodos de verano e invierno.

A este respecto, existen programas de simulación que pueden proporcionar el grado de inclinación óptima en función de nuestra ubicación geográfica, como por ejemplo la aplicación online PVGIS (European Commission, 2022) y normalmente estas aplicaciones consideran usos constantes anuales.

El panel fotovoltaico es capaz de transformar la radiación en energía eléctrica, ya sea radiación directa, indirecta e incluso difusa, tal y como se puede observar en la Figura 121. Existen numerosas herramientas para cuantificar la cantidad de radiación solar que se puede llegar a captar por una instalación, para así determinar la potencia que se puede llegar a generar. La más recomendable, es la ya mencionada PVGIS, que al ser una herramienta oficial de la Unión Europea, nos proporciona información sobre la radiación solar diaria y mensual en toda Europa, estimando el rendimientos de una instalación solar fotovoltaica conectando a red. Introduciendo los datos de ubicación, tipo de tecnología de panel utilizada y la potencia pico instalada, nos proporciona datos de simulación donde aparece la producción anual esperada de la instalación, entre otros.

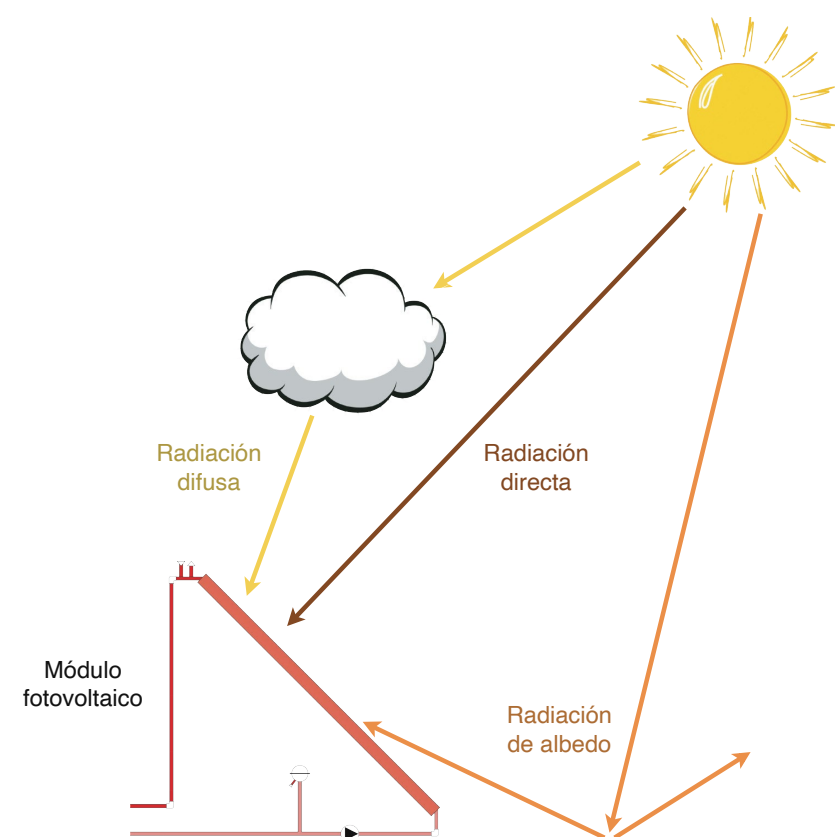


Figura 121. Tipos de radiación capaz de captar un panel fotovoltaico.

10.3.1.1 Consideraciones en el dimensionado de instalaciones fotovoltaicas

A la hora de dimensionar una instalación fotovoltaica hay que tener en cuenta una serie de consideraciones para que esta se adapte adecuadamente a las condiciones del usuario, intentando siempre proponer una implantación (sobre todo en relación con la potencia instalada) que se adapte a la edificación donde se va a implantar y al tipo de consumo que se va a realizar de ella, para así no generar demasiados excedentes que harán que la rentabilidad económica de la instalación no sea la adecuada.

Como ya se ha mencionado antes, lo ideal es que la producción se destine fundamentalmente al autoconsumo, ya que al evitar la “compra” de energía a la red, la amortización⁴⁰ de la instalación será mucho más ventajosa que si se considera fundamentalmente los beneficios de la “venta” a la red de la energía excedentaria, ya que el precio de venta de esta energía siempre será del orden de la mitad del precio de la compra de la energía que se consume de la red.

⁴⁰ En este caso, la amortización se calculará en base a precio medio de compra de la energía.

A la hora de proyectar una instalación para una rehabilitación energética, se deben de considerar los siguientes pasos:

1. Analizar el tipo de consumidor:

Se debe estudiar el tipo de tarifa que tiene contratado el consumidor o consumidores para podernos adaptar a la misma, no instalando más potencia de la que se tiene contratada.

En muchas ocasiones, si se dispone de datos de consumo del usuario junto con la potencia máxima consumida, se puede llegar a proponer una reducción u ampliación del término de potencia de su suministro eléctrico o incluso un cambio tarifario, ajustando así su consumo real a lo que se factura por su suministro.

En algunas ocasiones, la información sobre el consumo eléctrico instantáneo que se está produciendo puede ser un buen punto de partida para que el usuario racionalice su gasto, cambiando o trasladando una parte de la utilización de la electricidad en otro horario o de forma que no se acumule mucha potencia demandada. Esto se puede conseguir con la utilización de pequeños contadores de consumo que se pueden instalar fácilmente en el cuadro eléctrico del peticionario.

2. Predimensionado de la instalación fotovoltaica:

Una vez analizado el consumo del usuario, se puede proceder al predimensionado de la instalación fotovoltaica, teniendo en cuenta la ubicación de esta, su orientación, la potencia pico instalada, etc., utilizando para ello softwares como el mencionado anteriormente PVGIS.

Un buen estudio viene acompañado de un adecuado análisis de las curvas de consumo del usuario y de la posible curva de producción que tenga la instalación a realizar, intentando que ambas se adapten lo mejor posible.

En la Figura 122 se puede ver el estudio realizado para una vivienda existente, donde está la curva de consumo (en rojo) que ha tenido el usuario durante una semana concreta del año y cómo se interseca con la curva de producción esperada de las placas fotovoltaicas (en amarillo), dando como resultado un área (en verde) que corresponde a la energía producida por las placas y que es autoconsumida.

Si el usuario quiere aprovechar más su producción, se puede dotar a la instalación de baterías de acumulación, que pueden hacer que el vertido sea prácticamente inexistente, ya que se acumulan los excedentes y se consumen en aquellas horas donde no hay producción⁴¹.

Para la realización de estos estudios, la empresa instaladora, con la autorización del titular del contrato de suministro eléctrico, puede solicitar a la compañía comercializadora las curvas de consumo del usuario de todo un año para poder realizar una previsión de autoconsumo lo más fiable posible basada en el perfil de uso del peticionario.

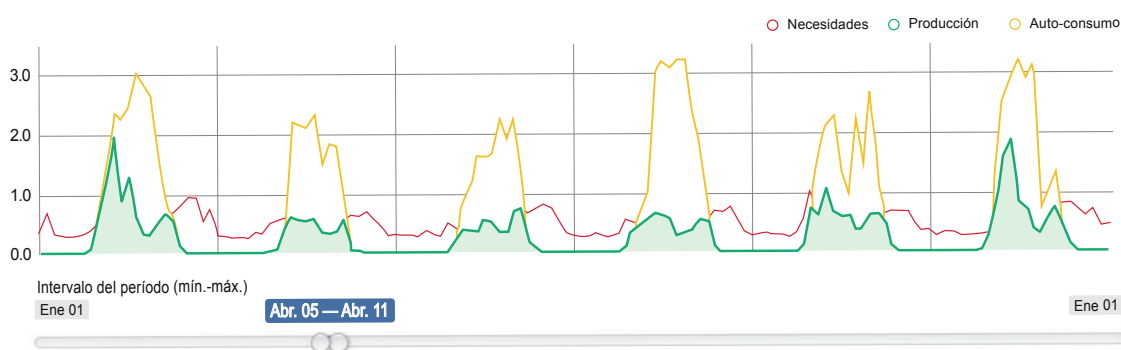


Figura 122. Gráfico con las curvas de producción fotovoltaica (amarillo), consumo energético (rojo) y fracción de autoconsumo (verde).
(Fuente Enercoop).

⁴¹ Este tipo de instalaciones, en fechas de elaboración de esta guía, aún presentan problemas de amortización, ya que su coste es importante, tienen una vida útil menor que las placas fotovoltaicas y su amortización se alarga más en el tiempo. Con la evolución de la tecnología que se está desarrollando para estos elementos se prevé que en años próximos sus costes de implantación, explotación y amortización sea mucho mejores que los actuales.

3. Dimensionado y ejecución de la instalación:

Una vez clara la potencia pico estimada, se debe de dimensionar la instalación, estableciendo el tipo de paneles a utilizar, su potencia unitaria, las pérdidas que pueda tener la instalación por orientación y por sombreadamientos y, por último, la estructura a instalar en el edificio a rehabilitar.

Hay que tener en cuenta, que este tipo de instalaciones se puede integrar en el edificio de distintas maneras, colocándolas en cubiertas, fachadas, suelo, vallados, marquesinas, etc. Estas disposiciones serán más o menos idóneas en función de la cantidad de pérdidas que pueda acumular la instalación y que tendrán que calcularse en el dimensionado definitivo.

10.3.2 EL USO DE LAS INSTALACIONES FOTOVOLTAICAS

La implantación de este tipo de energías renovables en edificación residencial existente también debería pasar por un aprendizaje en su uso por parte de los usuarios. Como ya se ha indicado, a excepción de que se utilicen sistemas con baterías, la producción eléctrica está focalizada en las horas solares que varían en base a la época del año y a la meteorología existente, así como en la orientación de los sistemas de captación.

Teniendo en cuenta lo anterior, la utilización usual de energía eléctrica en el sector residencial está más concentrada en las primeras horas de la mañana y las últimas de la tarde, cuando más actividades se realizan en las viviendas, sin embargo, durante las horas centrales del día, que es cuando más producción fotovoltaica se da, el consumo en este sector es menor.

Estas circunstancias hacen necesario una educación del usuario para intentar derivar parte de sus consumos energéticos a las horas centrales del día, para aprovechar al máximo el autoconsumo eléctrico y reducir los vertidos a red. Como se ha indicado, esto se puede hacer a través de formación al usuario e información.

Se puede mantener informado al usuario de su consumo, autoconsumo y producción eléctrica del sistema fotovoltaico a través de aplicaciones móviles para que pueda decidir, con un mejor conocimiento, cuando consumir electricidad de forma más eficiente, programando su utilización o variando las horas de esta.

También se puede establecer sistemas automáticos, mediante la utilización de domótica, para que, en función de la producción solar, se puedan conectar los sistemas de climatización automáticamente, de forma que, aprovechando la inercia térmica de la envolvente, se pueda climatizar las viviendas utilizando energía que de otra forma se vertería a la red como excedente.

- ANDIMAT. (2008a). Soluciones de Aislamiento con Lana Mineral. En *Guía para la Rehabilitación de la Envolvente*. Madrid: Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, IDAE.
- ANDIMAT. (2008b). Soluciones de aislamiento con Poliestireno Expandido (EPS). En *Guía para la Rehabilitación de la Envolvente*. Madrid: Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, IDAE.
- ANDIMAT. (2008c). Soluciones de Aislamiento con Poliestireno Extruido (XPS). En *Guía para la Rehabilitación de la Envolvente*. Madrid: Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, IDAE.
- ANDIMAT. (2008d). Soluciones de Aislamiento con Poliuretano. En *Guía para la Rehabilitación de la Envolvente*. Madrid: Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, IDAE.
- ANDIMAT & IDAE. (2019). Guías IDAE 018: Soluciones de acristalamiento y cerramiento acristalado. Madrid: Instituto de Diversificación y Ahorro de Energía, IDAE.
- ASEFAVE. (2020). *Manual de Protección Solar del Cerramiento* (2nd ed.). Asociación Española de Fabricantes de fachadas ligeras y ventanas, ASEFAVE.
- ASEFAVE. (2021). *Manual de prescripción y recepción de elementos del hueco en obra. Ventanas, persianas y otras protecciones solares*. (2nd ed.). Asociación Española de Fabricantes de fachadas ligeras y ventanas, ASEFAVE.
- ASEFAVE. (2023). *Guía de instalación de ventanas*. Asociación Española de Fabricantes de fachadas ligeras y ventanas, ASEFAVE.
- ASIT. (2020). *Guía Técnica de Energía Solar Térmica*. Madrid: Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, IDAE.
- ATECYR. (2008). Guía técnica. Instalaciones de calefacción individual. En *Ahorro y Eficiencia Energética en Climatización* (Vol. 16). Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía, IDAE.
- Carretero-Ayuso, M. J. (2020a). Clasificación y tipologías de la carpintería exterior. En *Documentos de Orientación Técnica en Fachadas* (pág. 1-6). Fundación MUSAAT.
- Carretero-Ayuso, M. J. (2020b). Prestaciones y componentes de la carpintería exterior. En *Documentos de Orientación Técnica en Fachadas* (pág. 1-6). Madrid: Fundación MUSAAT.
- Carretero-Ayuso, M. J. (2020c). Puesta en obra y mantenimiento de la carpintería exterior. En *Documentos de Orientación Técnica en Fachadas* (pág. 1-6). Fundación MUSAAT.
- CGATE. (2021). *Guía para la elaboración del Libro del Edificio Existente para la rehabilitación. Instrucciones, recomendaciones, consejos y ejemplos para la justificación del anexo I del Real Decreto 853/2021*. Madrid: Secretaría General de Agenda Urbana y Vivienda del MITMA.
- COAATIEMU. (2022). *Manual práctico para la redacción del Libro del edificio existente para la rehabilitación*. Murcia: Colegio Oficial de Aparejadores, Arquitectos Técnicos e Ingenieros de Edificación de la Región de Murcia (COAATIEMU).
- Comisión Europea. (2013). *Decisión de la Comisión, de 1 de marzo de 2013, por la que se establecen las directrices para el cálculo por los Estados miembros de la energía renovable procedente de las bombas de calor de diferentes tecnologías, conforme a lo dispuesto en el artículo 5*. Diario Oficial de la Unión Europea, núm. 62, páginas 27 a 35.
- Comunidad de Madrid. (2012). *Guía del Frío Solar. Ahorro y eficiencia energética con refrigeración solar*. Madrid: Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid.
- Comunidad de Madrid. (2016). *Guía de Ventanas Eficientes y Sistemas de Regulación y Control Solar*. Madrid: Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid.
- CTE DB-HE. *Código Técnico de Edificación. Documento Básico, Ahorro de Energía*. Ministerio de Vivienda y Agenda Urbana. Obtenido de <https://www.codigotecnico.org/>

- Decreto 1490. (1975). *Decreto 1490/1975 de 12 de junio, por el que se establecen medidas a adoptar en las edificaciones con objeto de reducir el consumo de energía.* Presidencia del Gobierno. Boletín Oficial del Estado, núm. 165, de 11 de julio de 1975, páginas 15001 a 15003.
- Directiva 2002/91/CE. (2002). *del Parlamento Europeo y del Consejo de 16 de diciembre de 2002 relativa a la eficiencia energética de los edificios.* Comisión Europea. Diario Oficial de las Comunidades Europeas, núm. 1, 4 de enero de 2003, p. 65–71.
- Directiva 2009/28/CE. (2009). *del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de abril de 2009, relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables y por la que se modifican y se derogan las Directivas 2001/77/CE y 2003/30/CE.* Comisión Europea. Diario Oficial de la Unión Europea, núm. 140, de 5 de junio de 2009, páginas 16 a 62.
- Directiva 2010/31/UE. (2010). *del Parlamento Europeo y del Consejo de 19 de mayo de 2010 relativa a la eficiencia energética de los edificios.* Unión Europea. Diario Oficial de la Unión Europea, núm 153, páginas 13–35.
- Directiva 2012/27/UE. (2012). *del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de octubre de 2012, relativa a la eficiencia energética, por la que se modifican las Directivas 2009/125/CE y 2010/30/UE, y por la que se derogan las Directivas 2004/8/CE y 2006/32/CE.* Unión Europea. Diario Oficial de La Unión Europea, núm 315, 14 del 1 de 2012, p. 1–56.
- Directiva 2018/2001/UE. (2018). *del Parlamento Europeo y del Consejo, de 11 de diciembre de 2018, relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables.* Unión Europea. Diario Oficial de la Unión Europea, núm. 328, de 21 de diciembre de 2018, páginas 82 a 209.
- Directiva 2018/844/UE. (2018). *del Parlamento Europeo y del Consejo, de 30 de mayo de 2018, por la que se modifica la Directiva 2010/31/UE relativa a la eficiencia energética de los edificios y la Directiva 2012/27/UE relativa a la eficiencia energética.* Diario Oficial de la Unión Europea, núm 156, de 19 de junio de 2018, páginas 75 a 91.
- European Commission. (01 de 03 de 2022). *PHOTOVOLTAIC GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM.* Obtenido de https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/es/
- Gómez Pérez-Guillermo, Á. (2023). *Soluciones de control solar para la rehabilitación de fachadas en el marco de la economía circular.* [Trabajo Fin de Estudios, Universidad Politécnica de Cataluña]. Obtenido de Repositorio Institucional- Universidad Politécnica de Cataluña.
- Gómez, T., et al. (2022). *Guía sobre instalaciones centralizadas de calefacción, refrigeración y ACS.* Madrid: Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid.
- González-Falcón, R. (2007). *Caracterización y evaluación energética de edificios existentes en base a medidas.* [Tesis de Doctorado, Universidad de Sevilla]. Obtenido del Repositorio Institucional-Universidad de Sevilla.
- González Juan, I. (2024). *Banco de detalles arquitectónicos de diferentes tipologías de fachadas.* Alicante: Trabajo Fin de Grado de Arquitectura Técnica. Universidad de Alicante.
- IDAE. (2012). *Guía Técnica para la Rehabilitación de la Envolvente Térmica de los Edificios con Sistemas Compuestos de Aislamiento Térmico por el Exterior (SATE).* Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, IDAE.
- IDAE. (2014). *Prestaciones Medias Estacionales De Las Bombas De Calor Para Producción De Calor En Edificios.* Ministerio de Industria, Energía y Turismo. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, IDAE.
- IDAE. (2020a). *Condiciones técnicas de los procedimientos para la evaluación de la eficiencia energética de los edificios.* Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja – IETcc-CSIC. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, IDAE.
- IDAE. (2020b). *Memoria IDAE 2018.* Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía, IDAE.
- IDAE. (2021). *La nueva etiqueta energética desembarca el 1 de marzo de 2021.* Obtenido de <https://www.idae.es/noticias/la-nueva-etiqueta-energetica-desembarca-el-1-de-marzo-de-2021>
- IDAE. (2023). *Guía #05 pasos para rehabilitar su instalación solar térmica.* Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, IDAE.

- IDAE & MITECO. (2023). *Consumo por usos residencial. Consumo Por Usos Del Sector Residencial*. Madrid: Instituto de Diversificación y Ahorro de Energía & Ministerio para la Transición Ecológica y Reto Demográfico.
- IDAE & ATECYR. (2008). *Guía práctica sobre instalaciones centralizadas de calefacción y agua caliente sanitaria (ACS) en edificios de viviendas*. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, IDAE.
- López Davó, J. (2022). *La evolución del concepto de confort: el confort ambiental en edificios docentes y administrativos*. [Tesis de Doctorado, Universidad de Alicante] Obtenido del Repositorio Institucional - Universidad de Alicante.
- Ministerio de Fomento. (Octubre de 2011). *Catálogo de Elementos Constructivos del CTE*. Obtenido de <https://itec.cat/cec/>
- Ministerio de Fomento. (2014). *DA DB-HE / 3. Puentes Térmicos. Documento de Apoyo al Documento Básico DB-HE Ahorro de energía*. Código Técnico de la Edificación.
- MITECO. (2024). *Procedimientos para la certificación de edificios*. Obtenido de Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico: <https://www.miteco.gob.es/es/energia/eficiencia/certificacion-energetica/documentos-reconocidos/procedimientos-certificacion-proyecto-terminados.html>
- MITMA. (2020). *DA DB-HE / 1. Cálculo de parámetros característicos de la envolvente. Documento de Apoyo al Documento Básico DB-HE Ahorro de energía*. Ministerio de Transporte, Movilidad y Agenda Urbana, MITMA, Código Técnico de la Edificación.
- Noticias Ambientales. (2020). *Aclaraciones sobre la calidad ambiental de interiores, la UNE 171330 y la modificación del RITE*. España: Noticias Ambientales.
- Orden FOM 1635. (2013). *Orden FOM/1635/2013 de 10 de septiembre, por la que se actualiza el Documento Básico DB-HE "Ahorro de Energía", del Código Técnico de la Edificación, aprobado por Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo*. Ministerio de Fomento. Boletín Oficial del Estado, núm. 219, de 12 de septiembre de 2013, páginas 67137 a 67209.
- Palmero Marrero, A. I. (2004). *Estudio de un sistema solar térmico utilizando dispositivos sombreadores de edificios*. [Tesis de Doctorado, Universidad de la Laguna]. Obtenido de Repositorio Institucional - Universidad de la Laguna
- Plataforma PEP. (2022). *Guía de buenas prácticas del test Blower Door*. Plataforma de Edificación Passivhaus.
- Real Decreto 1027. (2007). *Real Decreto 1027/2007, de 20 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios*. Ministerio de la Presidencia. Boletín Oficial de Estado, núm. 207, de 29/08/2007.
- Real Decreto 1751. (1998). *Real Decreto 1751/1998 de 31 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE) y sus Instrucciones Técnicas Complementarias (ITE) y se crea la Comisión Asesora para las Instalaciones Térmicas de los Edificios*. Ministerio de la Presidencia. Boletín Oficial del Estado, núm. 186, de 5 de agosto de 1998, páginas 26585 a 26634.
- Real Decreto 178. (2021). *Real Decreto 178/2021, de 23 de marzo, por el que se modifica el Real Decreto 1027/2007, de 20 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios*. Ministerio de la Presidencia, Relaciones con las Cortes y Memoria Democrática. Boletín Oficial del Estado, núm. 71, de 24 de marzo de 2021, páginas 33748 a 33793.
- Real Decreto 2429. (1979). *Real Decreto 2429/1979 de 6 de julio, por el que se aprueba la norma básica de edificación NBE-CT-79, sobre condiciones térmicas en los edificios*. Presidencia del Gobierno. Boletín Oficial Del Estado, núm. 253, de 22 de octubre de 1979, páginas 24524 a 24550.
- Real Decreto 244. (2019). *Real Decreto 244/2019 de 5 de abril, por el que se regulan las condiciones administrativas, técnicas y económicas del autoconsumo de energía eléctrica*. Ministerio para la Transición Ecológica. Boletín Oficial del Estado, núm. 83, de 6 de abril de 2019, páginas 35674 a 35719.
- Real Decreto 275. (1995). *Real Decreto 275/1995 de 24 de febrero, por el que se dicta las disposiciones de aplicación de la Directiva del Consejo de las Comunidades Europeas 92/42/CEE, relativa a los requisitos de rendimiento para las calderas nuevas de agua caliente alimentadas*. Ministerio de Industria y Energía. Boletín Oficial del Estado, núm. 73, de 27 de marzo de 1995, páginas 9414 a 9421.

- Real Decreto 314. (2006). *Real Decreto 314./2006 de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación*. Ministerio de Vivienda. Boletín Oficial del Estado, núm. 74, de 28 de marzo de 2006, páginas 11816 a 11831.
- Real Decreto 390. (2021). *Real Decreto 390/2021 de 1 de junio de 2021, por el que se aprueba el procedimiento básico para la certificación de la eficiencia energética de los edificios*. Ministerio de la Presidencia, Relaciones con las Cortes y Memoria Democrática. Boletín Oficial del Estado, núm. 131.
- Real Decreto 450. (2022). *Real Decreto 450/2022 de 14 de junio, por el que se modifica el Código Técnico de la Edificación, aprobado por el Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo*. Ministerio de la Presidencia, Relaciones con las Cortes y Memoria Democrática. Boletín Oficial del Estado, núm. 142, de 15 de junio de 2022, páginas 81973 a 81989.
- Real Decreto 47. (2007). *Real Decreto 47/2007 de 19 de enero, por el que se aprueba el Procedimiento básico para la certificación de eficiencia energética de edificios de nueva construcción*. Ministerio de la Presidencia. Boletín Oficial Del Estado, 31 de enero de 2007, Núm. 27, 4499–4507.
- Real Decreto 732. (2019). *Real Decreto 732/2019 de 20 de diciembre, por el que se modifica el Código Técnico de la Edificación, aprobado por el Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo*. Ministerio de Fomento. Boletín Oficial Del Estado, núm. 311, de 27 de diciembre de 2019, páginas 140488 a 140674.
- Real Decreto-Ley 20. (2022). *Real Decreto-ley 20/2022, de 27 de diciembre, de medidas de respuesta a las consecuencias económicas y sociales de la Guerra de Ucrania y de apoyo a la reconstrucción de la isla de La Palma y a otras situaciones de vulnerabilidad*. Jefatura del Estado. Boletín Oficial del Estado, núm. 311, de 28/12/2022.
- Recomendación 2016/1318/UE. (2016). *de la Comisión de 29 de julio de 2016 sobre las directrices para promover los edificios de consumo de energía casi nulo y las mejores prácticas para garantizar que antes de que finalice 2020 todos los edificios nuevos sean* Comisión Europea. Diario Oficial de la Comisión Europea, núm 208, página 46 a 57.
- Reglamento Delegado 2022/759/UE. (2022). *de la Comisión de 14 de diciembre de 2021 por el que se modifica el anexo VII de la Directiva (UE) 2018/2001 del Parlamento Europeo y del Consejo con respecto a una metodología para calcular la cantidad de energías ren...* Comisión Europea. Diario Oficial de la Unión Europea, núm. 139, de 18 de mayo de 2022, páginas 1 a 12.
- UNE 85219. (2023). *Norma Española UNE 85219. Ventanas. Colocación en obra*. Asociación Española de Normalización y Certificación, AENOR.
- UNE 92325. (2018). *Norma Española UNE 92325. Productos de aislamiento térmico en la edificación y cerramientos acristalados. Control de la instalación*. Asociación Española de Normalización y Certificación, AENOR.
- UNE-EN 12114. (2000). *Norma Española UNE-EN 12114. Prestaciones térmicas de los edificios. Permeabilidad al aire de componentes y elementos de los edificios. Método de ensayo de laboratorio*. Asociación Española de Normalización y Certificación, AENOR.
- UNE-EN 12207. (2017). *Norma Española UNE-EN 12207. Ventanas y puertas Permeabilidad al aire Clasificación*. Asociación Española de Normalización y Certificación, AENOR.
- UNE-EN 13501-1. (2019). *Norma Española UNE-EN 13501. Clasificación en función del comportamiento frente al fuego de los productos de construcción y elementos para la edificación. Parte 1: Clasificación a partir de datos obtenidos en ensayos de reacción al fuego*. Asociación Española de Normalización y Certificación, AENOR.
- UNE-EN 14501. (2021). *Norma española UNE-EN 14501. Celosías y persianas. Confort térmico y luminoso. Evaluación del comportamiento*. Asociación Española de Normalización y Certificación, AENOR.
- UNE-EN 410. (2011). *Norma Española UNE-EN 410. Vidrio para la edificación. Determinación de las características luminosas y solares de los acristalamientos*. Asociación Española de Normalización y Certificación, AENOR.
- UNE-EN 673. (2011). *Norma Española UNE-EN 673. Vidrio en la construcción. Determinación del coeficiente de transmisión térmica U. Método de cálculo*. Asociación Española de Normalización y Certificación, AENOR.
- UNE-EN ISO 10077-1. (2020). *Norma Española UNE-EN ISO 10077. Comportamiento térmico de ventanas, puertas y persianas. Cálculo de la transmitancia térmica. Parte 1: Generalidades*. Asociación Española de Normalización y Certificación, AENOR.

- UNE-EN ISO 10077-2. (2020). *Norma Española UNE-EN ISO 10077. Persianas Cálculo de la transmitancia térmica Parte 2: Método numérico para los marcos*. Asociación Española de Normalización y Certificación, AENOR.
- UNE-EN ISO 23993. (2012). *Norma Española UNE-EN ISO 23993. Productos de aislamiento térmico para equipos en edificación e instalaciones industriales. Determinación de los valores de diseño de la conductividad térmica*. Asociación Española para la Normalización y Certificación, AENOR.
- UNE-EN ISO 52000-1. (2019). *Norma Española UNE-EN ISO 52000-1. Eficiencia energética de los edificios. Evaluación global de la eficiencia energética de los edificios. Parte 1: Marco general y procedimientos. (ISO 52000-1:2017)*. Asociación Española de Normalización y Certificación, AENOR.
- UNE-EN ISO 9972. (2019). *Norma Española UNE-EN ISO 9972. Prestaciones térmicas de los edificios. Determinación de la permeabilidad al aire de los edificios. Método de presurización con ventilador (ISO 9972:2015)*. Asociación Española de Normalización y Certificación, AENOR.
- Vázquez Otero, J. L. (2016). *Apeia. Análisis de pérdidas energéticas por infiltración de aire*. Coruña: IES Universidade Laboral de Culleredo.

Joaquín Antonio López Davó

Dr. por la Universidad de Alicante. Grado en Arquitectura Técnica.

Profesor Titular de Escuela Universitaria del Departamento Edificación y Urbanismo.

Escuela Politécnica Superior de la Universidad de Alicante.

Gemma Vázquez Arenas

Dra. Ingeniera Industrial.

Profesora del Departamento de Arquitectura y Tecnología de la Edificación.

Escuela Técnica Superior de Arquitectura y Edificación. Universidad Politécnica de Cartagena.

Julián Pérez Navarro

Grado en Ingeniería de Edificación. Master en Edificación.

Profesor del Departamento de Arquitectura y Tecnología de Edificación.

Escuela Técnica Superior de Arquitectura y Edificación. Universidad Politécnica de Cartagena.

Director del Gabinete Técnico del Colegio Oficial de Aparejadores, Arquitectos Técnicos e Ingenieros de Edificación de la Región de Murcia.

Autora de imágenes y dibujos:

Isabel González Juan

Grado en Arquitectura Técnica por la Universidad de Alicante.

FUNDACIÓN Musaat

GRUPO
Musaat

agradecimiento:

bankinter.

ISBN: 978-84-09-60525-5



9 788409 605255

C. del Jazmín, 66. 28033 Madrid
T. (+34) 913 84 11 27
fundacionmusaat.musaat.es

