

Impermeabilización y aislamiento

Técnicas de aislamiento térmico y acústico

Tercera edición

Juan Tejela Juez

Tomás San Martín Iglesias





3ª edición: marzo 2010

© Juan Tejela Juez
© Tomás San Martín Iglesias
© Fundación Laboral de la Construcción
© Tornapunta Ediciones, S.L.U.
ESPAÑA

Av. Alberto Alcocer, 46 B Pª 7
28016 Madrid
Tél.: 91 398 45 00 Fax: 91 398 45 03
www.fundacionlaboral.org

I.S.B.N.: 978-84-92686-61-2
Depósito Legal: M-14681-2010

ÍNDICE

	Introducción	5
	Objetivos generales del curso	7
	Compendio de conocimientos	9
UD1	Aislamiento térmico. Principios básicos	11
UD2	Materiales y técnicas de aislamiento térmico	39
UD3	Nuevas tecnologías de aislamiento	69
UD4	Aislamiento acústico. Principios básicos	85
UD5	Materiales y técnicas de aislamiento acústico	103
UD6	Protección y acondicionamiento	121
	Anexo	145
	Bibliografía	161
	Índice de figuras	259



INTRODUCCIÓN

Desde tiempos inmemoriales, el hombre ha tratado de adaptar sus necesidades al entorno donde vivía. Una de sus necesidades primarias ha sido siempre la de tener un lugar para guarecerse del sol o del frío, del viento o de la lluvia. La forma de protegerse de los agentes atmosféricos; la obtención y transformación de los materiales constructivos constituye una simbiosis con el medio natural, en el cual el hombre desarrolla su habilidad y su inteligencia.

La evolución del hombre, sin duda, ha ido aparejada a la de la construcción. Ya desde los tiempos prehistóricos, en los que el hombre vivía en las cavernas y más tarde en las chozas, para conseguir su aislamiento del exterior interponía entre él y el medio un elemento o material constructivo, más o menos perfecto. Este aislamiento tenía, en principio, la intención de guarecerse de las condiciones climáticas, pero hay otras razones para aislarse: descansar, trabajar, relacionarse socialmente, etc.

Pensemos brevemente cómo fue evolucionando el material constructivo, a lo largo de la historia. Desde los grandes bloques de piedra de los templos egipcios, se pasó a los gruesos muros de tres hojas de la arquitectura romana, hasta llegar a la construcción medieval. Ésta se caracteriza por las grandes moles que constituían sus castillos y catedrales. A pesar de la transparencia de los muros góticos, éstos tenían un gran espesor. En dichos muros, se producía la inversión térmica, fenómeno por el que se mantiene el calor en el interior, a pesar de los cambios estacionales, precisamente por la acumulación de material con la que aquéllos se construían. Estas "moles" cumplían una función estructural de equilibrio de los esfuerzos de las bóvedas interiores. En los períodos siguientes (renacimiento, barroco

Técnicas de aislamiento térmico y acústico

y neoclásico), el hombre, poco a poco, comienza a ahorrar material en sus construcciones, ahorro éste que llega al máximo en nuestros días. Este principio economicista nos obliga a cambiar nuestra ancestral idea del aislamiento. La gran masa de material se sustituye por soluciones tecnológicas más ventajosas que tenían que compensar la disminución de aquélla. Se obtienen mejores condiciones de confort y de ahorro energético.

Una situación muy similar se nos presenta con respecto al aislamiento acústico, agudizadas por las especiales condiciones de nuestras ciudades. Éstas cada vez más ruidosas, nos obligan a buscar un refugio bien aislado acústicamente. Unido a esto, nos encontramos que existe una serie de actividades que nos exigen el citado aislamiento del exterior o condiciones acústicas más especiales: audición de música, salas de conferencias, estudios de radio o T.V. o una habitual actividad docente en una clase de cualquier centro escolar. Todos hemos vivido la desagradable experiencia, en un aula, de no oír bien al profesor y sin embargo sufrir el "cuchicheo" de los compañeros de la esquina, debido a las deficientes condiciones acústicas del local.

Los temas anteriormente comentados tendrán una respuesta en este Curso. Trataremos sobre: materiales aislantes, su adecuada instalación, el ahorro energético, las condiciones de confort térmico y acústico, etc.

Estos deseados aislamientos, convenientes, confortables y necesarios, son además obligatorios. Existen dos Normas Básicas, que nos obligan a que nuestras construcciones cumplan ambos tipos de aislamiento: térmico y acústico.

Este campo, en el que nos estamos introduciendo, es de amplio desarrollo y en una evolución constante, y genera una gran actividad en la construcción, desde todos los puntos de vista: investigación, fabricación y construcción.



OBJETIVO GENERAL

Al finalizar el curso, el alumno será capaz de:

- Asimilar el concepto de aislamiento térmico y aprender los principios físicos, en los que se basa dicho aislamiento.
- Conocer la normativa vigente en esta materia, DBE-HE1 limitación de demanda energética así como ser capaz de comprender un ejercicio de aplicación de la misma.
- Establecer los elementos constructivos que necesitan aislamiento térmico, así como conocer los materiales aislantes de uso más común.
- Comprender el concepto de puente térmico y su influencia en el comportamiento térmico de una edificación.
- Conocer las nuevas tecnologías en el aislamiento térmico.
- Asimilar el concepto de aislamiento acústico y aprender los principios físicos, en los que se basa dicho aislamiento.
- Conocer la normativa vigente en esta materia, CTE DB-HE1, así como ser capaz de comprender un ejercicio de aplicación de la misma.

Técnicas de aislamiento térmico y acústico

- Establecer los elementos constructivos que necesitan aislamiento acústico, así como conocer los materiales aislantes de uso más común.
- Identificar las nuevas técnicas de aislamiento acústico.
- Conocer los principios en los que se basa la protección acústica en los espacios exteriores, interiores y a los trabajadores en su puesto de trabajo.
- Establecer los conceptos fundamentales en el acondicionamiento acústico.



COMPENDIO DE CONOCIMIENTOS PREVIOS

Para conseguir un ahorro energético en las instalaciones de calefacción y de climatización de un edificio, es necesario que éste se halle aislado térmicamente.

Además de ser un factor económico, este aislamiento nos viene obligado por la normativa vigente.

Las condiciones de confort térmico para las personas, en estado de reposo, son a una temperatura de 22 °C en invierno y a 25 °C en verano, con una humedad relativa del 50%.

En el aislamiento térmico de una edificación es necesario conocer la composición de sus cerramientos, así como tener en cuenta que las ventanas son el elemento constructivo más sensible al paso de calor y a las infiltraciones de aire.




Los materiales ofrecen una resistencia al paso del ruido de la misma manera que lo hacen al paso del calor.

Cuanto mayor es la masa de un elemento constructivo, mayor es el aislamiento acústico. Pero ya que esto no es viable, por razones económicas y de ocupación de espacio, se ha fabricado una serie de materiales con un espesor mínimo y acústicamente ventajosos.

Hay una serie de locales: teatros, auditorios de música, salas de conferencias, etc., en los que el confort acústico es imprescindible para cumplir su función adecuadamente.

UD1

ÍNDICE

	 Objetivos	12
1.1	Aislamientos térmico. Introducción	13
1.2	Conceptos básicos y principios físicos	15
1.3	El aislamiento térmico en la edificación	23
1.4	Normativa vigente	24
1.5	Procedimiento de verificación de la CTE-DB-HE 1	25
	 Resumen	33
	 Terminología	35

**OBJETIVOS**

Al finalizar esta Unidad Didáctica, el alumno deberá:

- Asimilar el concepto de aislamiento térmico.
- Aprender los principios físicos en los que se basa dicho aislamiento
- Conocer los conceptos en los que se inspira la Normativa vigente para poder realizar cálculos de aislamientos térmicos.
- Proponer y realizar un ejemplo de cálculo de (U) y parámetros característicos medios, de un edificio y comprobar que cumple la normativa cumplimentando las fichas justificativas.



1.1 AISLAMIENTO TÉRMICO. INTRODUCCIÓN

Los elementos y sistemas constructivos han variado sustancialmente a lo largo de la historia para mejorar las condiciones de adecuación de las construcciones al medio.

Una de las principales condiciones exigidas, desde siempre, a los edificios, ha sido la de procurar el confort adecuado en el interior de los mismos. Entre los factores que más directamente inciden en aquél, destaca la **temperatura**. Las condiciones de confort tradicionales son 22,5 °C en invierno y 25 °C en verano. Estas temperaturas dependen también del tipo de actividad que se desarrolla en su interior, siendo estos valores el estandar considerado hoy en día para el cálculo de las instalaciones de climatización.

El rendimiento energético de una edificación es inversamente proporcional a la cantidad de energía necesaria para obtener las condiciones de confort deseadas. Entre las medidas que el diseñador debe adoptar para conseguirlo, destaca el aislamiento térmico. Existen otras muchas variables que inciden en éste, como son la forma, la orientación, la disposición de huecos, etc. En esta unidad didáctica vamos a considerar el estudio del aislamiento térmico en los edificios.

En la actualidad son los arquitectos los que toman las decisiones que afectan al funcionamiento térmico de los edificios, aunque habitualmente no tienen en cuenta de forma explícita sus consecuencias. Las decisiones sobre forma, materiales y disposición de huecos se toman sobre la base de la planificación, construcción, estética y economía.

Cuando la energía era barata se podía considerar que el equilibrio era correcto, debido a la escasa importancia que se le daba al rendimiento térmico, quizás por el desfase entre la capacidad técnica y el ejercicio de la profesión. Desde la crisis energética de los años 70, todos los gobiernos de nuestro entorno se han preocupado por reducir al máximo el consumo de energía en todas las actividades de la sociedad. El consumo de energía primaria en usos domésticos supone alrededor de un 30% del consumo global de energía en nuestro país. Más de la mitad del total de energía empleada en edificios se destina a viviendas; dentro de éstas, la calefacción supone un 75% de la energía consumida.

Podríamos llegar a la conclusión de que una edificación perfecta es aquella en la que se equilibran las condiciones de aislamiento térmico con el costo de las instalaciones de climatización; ya sea el de la propia instalación o el de su mantenimiento.

El ahorro energético debe enfocarse desde la reducción del consumo, sin detrimento de la calidad de vida alcanzada. Es por ello fundamental no malgastar energía y por tanto la acción de aislar resulta muy eficaz de cara a la consecución de este objetivo.

Según lo expuesto, parece que cuando hablamos de aislamiento térmico, lo hacemos pensando en el frío. Esto es incorrecto, debido a que también es preciso aislar del calor; sobre todo en ciertas zonas de nuestra geografía.

El aislamiento térmico es, por tanto, un aspecto del diseño constructivo que debe perfeccionarse, en parte para cumplir la normativa desarrollada por los diferentes países y en parte para contribuir al buen funcionamiento térmico del edificio.

Hay cuatro **cuestiones fundamentales** que deberemos tener en cuenta:

1. Qué elementos requieren aislamiento.
2. En qué posición se debe colocar la capa de aislamiento.
3. Cuánto aislamiento es necesario.
4. Qué tipo de material aislante es el más indicado.

Estas cuestiones y sus respuestas son las ideas, alrededor de las cuales se basa una parte de este curso.

Antes de entrar a desarrollar estos puntos, parece fundamental aportar los conocimientos básicos necesarios sobre termotécnica, a lo que se dedica el siguiente apartado.

1.2 CONCEPTOS BÁSICOS Y PRINCIPIOS FÍSICOS

Existen tres formas de transmisión del calor que se conocen con los nombres de **conducción**, **convección** y **radiación**. Vamos a definir las:

- a) **Conducción**; es el proceso de transmisión de calor de un cuerpo a otro por contacto directo de las moléculas. El flujo energético se dirige de la región de mayor temperatura a la de menor.
- b) **Convección**; es el mecanismo de transmisión de calor que tiene lugar en un fluido cuando una parte de éste se mezcla con otra debido a los movimientos de la masa del mismo.
- c) **Radiación térmica**; es la onda electromagnética emitida por la superficie de un cuerpo excitado térmicamente. Esta radiación se emite en todas las direcciones y cuando incide sobre otro cuerpo, puede absorberse, transmitirse o reflejarse.

El proceso más importante en la transmisión de calor en la edificación, es la conducción a través de los distintos elementos que conforman el cerramiento de un edificio.

La ley fundamental de la conducción, demuestra empíricamente que la velocidad del flujo calorífico (q) a través de un cuerpo sólido, es directamente proporcional a la superficie (A) y a la diferencia de temperatura entre dos caras opuestas ($t_1 - t_2$), e inversamente proporcional al espesor (Δx). Esta ley puede expresarse sustituyendo la proporcionalidad por una constante llamada conductividad térmica (λ), que depende exclusivamente de la composición de cada material. Su fórmula es la siguiente:

$$q = \lambda \cdot A \frac{t_1 - t_2}{\Delta x}$$

Vamos a ocuparnos de otra serie de principios básicos:

- a) **Conductividad térmica** (λ); es la propiedad que nos indica la mayor o menor facilidad con que una sustancia determinada realiza la transmisión de calor. Ésta depende de la composición química de cada sustancia, de su estado sólido, líquido o gaseoso, de su estructura cristalina y de la temperatura y presión a que está sometido. También influye si se trata o no de un material homogéneo, pues de no serlo, la conductividad varía dentro de un mismo material. Los sólidos son mejores conductores que los líquidos y éstos mejores que los gases. Ésto es debido a la mayor o menor distancia entre las moléculas en cada uno de los estados.

Este coeficiente de conductividad térmica representa la cantidad de calor, tomada en una muestra de extensión infinita, caras planas y paralelas y una unidad de espesor, en la unidad de tiempo y a través de la unidad de área, cuando se establece una diferencia de temperatura entre sus caras de 1°C . En general, la conductividad térmica en sólidos homogéneos no varía con la presión, pero sí con la temperatura.

b) **Conductividad térmica** aparente en los materiales no homogéneos.

En la práctica, la mayoría de los materiales que empleamos como aislantes no son sustancias homogéneas o puras. Algunos materiales tienen conductividad no isótropa debido a su estructura fibrosa, como la madera o el asbesto. En otros materiales sólo puede considerarse una conductividad térmica aparente, originada por su falta de homogeneidad, bien por su estructura porosa, como en la lana de vidrio o el corcho, o por la variedad de sustancias integrantes, como es el caso de un muro compuesto por capas de diferentes materiales. En cualquiera de estos casos la conductividad depende de la estructura, composición, porosidad y densidad.

El coeficiente de conductividad térmica de un material no isótropo, deberá referirse a la dirección de propagación del flujo calorífico; por ejemplo, para una muestra de madera hay que indicar si se refiere a la dirección normal de la fibra o paralela a ella.

Por otro lado, en los materiales permeables al aire, la diferencia de temperatura provoca movimientos de convección que dependen de las características geométricas y puede llegar a no ser despreciable su influencia en la propagación del calor.

Para los materiales susceptibles de absorber agua o los materiales higroscópicos, es necesario distinguir si están en estado seco o en qué grado de humedad se encuentran.

c) **Resistividad**, es el inverso de la conductividad térmica ($r=1/l$).

La utilidad de este cociente radica en el caso en que el calor pase sucesivamente a través de diferentes materiales, como es el hecho de una pared formada por diferentes capas. En este supuesto, las resistencias pueden ser calculadas por separado y la resistencia del conjunto es la suma de las resistencias parciales obtenidas.

d) **Conductancia térmica (c)**; es la cantidad de calor transmitida a través de la unidad de área de una muestra de material de espesor L , dividida por la diferencia de temperaturas entre las caras caliente y fría en condiciones estacionarias. Ésta depende del **espesor** del material, mientras que la conductividad se refiere a la **unidad de espesor** del material.

e) **Difusividad térmica**; es una propiedad física relacionada con la conductividad térmica, la densidad y el calor específico del sólido a presión constante. Un caso particular de la ecuación anterior es el régimen permanente, llamado así por su independencia respecto al tiempo.

f) **Coefficiente superficial** de transmisión del calor, es la transmisión térmica por unidad de área hacia o desde una superficie en contacto con aire u otro fluido debido a la convección, conducción e irradiación, dividida por la diferencia de temperatura entre la superficie del material y la temperatura seca del fluido.

$$h_t = h_i + h_e$$

h_i : coeficiente superficial de la cara interior del muro
 h_e : coeficiente superficial de la cara exterior del muro

El valor del coeficiente superficial depende de factores como el movimiento del aire, la rugosidades de la superficie y la naturaleza y temperatura del ambiente.

$$R_T = R_{si} + R_{se}$$

g) **Resistencia térmica superficial**; es la inversa de los coeficientes superficiales de transmisión del calor y su valor depende del sentido del flujo del calor y de la situación exterior o interior de la superficie.

R_{si}: resistencia superficial de la cara interior del muro

R_{se}: resistencia superficial de la cara exterior del muro

Posición del cerramiento y sentido del flujo del calor	Situación del cerramiento					
	De separación con espacio exterior o local abierto			De separación con otro local, desván o cámara de aire		
	1/h _i =R _{si}	1/h _e =R _{se}	1/h _i +1/h _e	1/h _i =R _{si}	1/h _e =R _{se}	1/h _i +1/h _e =R _T
Cerramientos verticales o con pendiente sobre la horizontal > 60° y flujo horizontal	0,13 (0,11)	0,07 (0,06)	0,20 (0,17)	0,13 (0,11)	0,13 (0,11)	0,26 (0,22)
Cerramientos horizontales o con pendiente sobre la horizontal ≤ 60° y flujo ascendente	0,11 (0,09)	0,06 (0,05)	0,17 (0,14)	0,11 (0,09)	0,11 (0,09)	0,22 (0,18)
Cerramientos horizontales y flujo descendente	0,20 (0,17)	0,06 (0,05)	0,26 (0,22)	0,20 (0,17)	0,20 (0,17)	0,40 (0,34)
Resistencias térmicas superficiales en m ² h °C/kal (m ² °C/W)						

Figura 1. Resistencia térmica superficial

- h) **Transmitancia térmica.** Considerando un cerramiento que separa dos ambientes isotermos, es el flujo del calor por unidad de superficie y por grado de diferencia de temperatura entre los dos ambientes (h_i , h_e). Se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$U = \frac{1}{R_{si} + R_{se} + \sum L/\lambda}$$

Donde L es el espesor.

La diferencia entre la transmitancia y la conductancia radica en que para ésta la diferencia de temperatura se mide entre las dos caras, mientras que para la transmitancia esta medida se realiza entre los dos ambientes a ambos lados de la muestra.

- i) **Resistencia térmica total;** es la suma de las resistencias superficiales y de la resistencia térmica de los materiales que componen la pared. Es la inversa del coeficiente total de transmisión de calor. ($R_T = 1/U$)

Los conceptos y sus unidades más utilizadas son:

	Sistema tradicional	Sistema internacional
Conductividad térmica (l)	Kcal/hxm°C	w/mK
Resistividad (r)	hxm² °C/Kcal	m²K/W
Transmitancia térmica (U)	Kcal/hm² °C	W/m²K

Figura 2. Resistencia térmica total

- j) Los **parámetros característicos y parámetros característicos medios de la envolvente térmica**, son valores que necesitamos conocer para comprobar que un edificio cumple la normativa vigente en esta materia.

Se entiende por **envolvente térmica del edificio** a la formada por los cerramientos del edificio que separan los recintos habitables del ambiente exterior, tales como muros de fachada, medianeros, cubiertas, ventanas, puertas, lucernarios, suelos y muros en contacto con el terreno y cubiertas enterradas, así como a las particiones interiores que separan los recintos habitables de los no habitables.

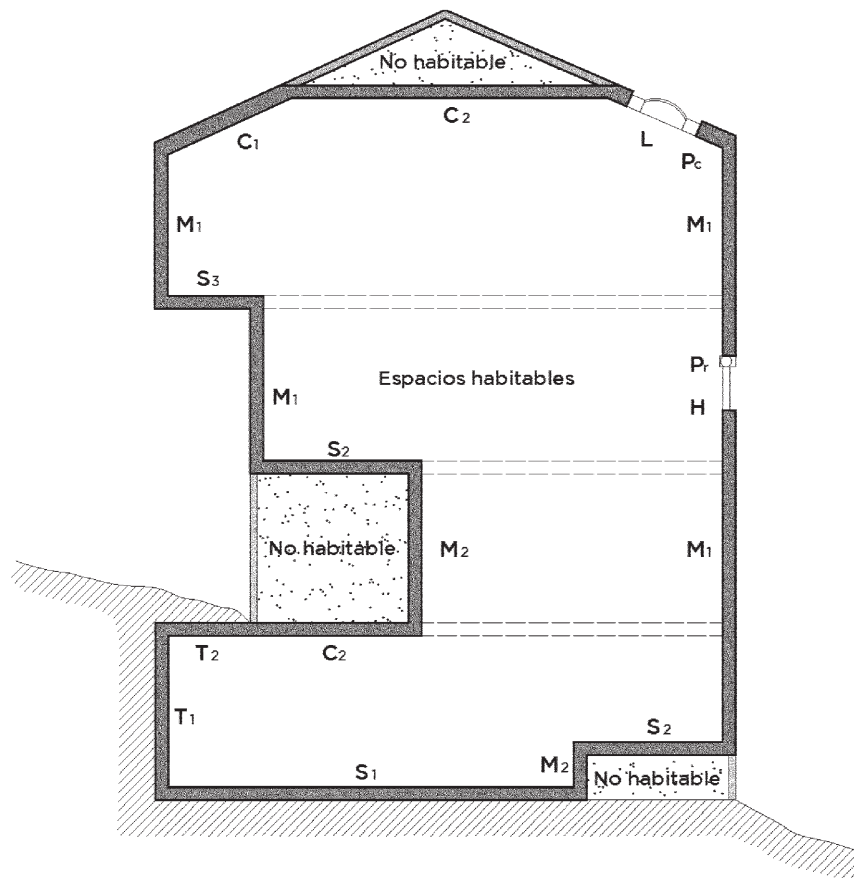


Figura 3. Esquema de envolvente térmica de un edificio. Fuente: Código Técnico de la Edificación

Los parámetros característicos de la envolvente son:

- UM** transmitancia térmica de muros de fachada;
- UC** transmitancia térmica de cubiertas;
- US** transmitancia térmica de suelos;
- UT** transmitancia térmica de cerramientos en contacto con el terreno;
- UH** transmitancia térmica de huecos ;
- FH** factor solar modificado de huecos;

Los "parámetros característicos medios" que definen la envolvente térmica son medias ponderadas de los valores de transmitancia y factor solar (parámetros característicos) de los distintos cerramientos que componen un edificio y son:

- **UMm**. Transmitancia térmica de muros de fachada para cada orientación, incluyendo en el promedio los puentes térmicos integrados en la fachada tales como contorno de huecos UPF1, pilares en fachada UPF2 y de cajas de persianas UPF3, u otros;

- **UCm** .Transmitancia térmica de cubiertas incluyendo en el promedio la transmitancia de los lucernarios UL y los puentes térmicos integrados en cubierta UPC; incluyen cubiertas inclinadas menos de 600, planas y bajo tierra.
- **USm**. Transmitancia térmica de suelos;
- **UTm**; Transmitancia térmica de cerramientos en contacto con el terreno
- **UHm** Transmitancia térmica de huecos para cada orientación;
- **FHm** factor solar modificado de huecos;

En la tabla de la figura siguiente se muestran las formulas para hallar los distintos parámetros característicos medios que deben ser comparados con unos valores limite que dependen de la zona climática.

Cerramiento y particiones interiores	Componentes		Parámetros característicos	Parámetros característicos medios	Comparación con los valores límites
Cubiertas	C ₁	En contacto con el aire	U _{c1}	$U_{Cm} = \frac{\sum A_C \cdot U_C + \sum A_{PC} \cdot U_{PC} + \sum A_L \cdot U_L}{\sum A_C + \sum A_{PC} + \sum A_L}$	U _{Cm} ≤ U _{Clim}
	C ₂	Es espacio con un espacio no habitable	U _{c2}		
	P _c	Puente térmico (contorno de lucernario >0,5 m ²)	U _{PC}		
	L	Lucernarios	U _L F _L	$F_{Lm} = \frac{\sum A_F \cdot F_L}{\sum A_F}$	F _{Lm} ≤ F _{Llim}
Fachadas	M ₁	Muro en contacto con el aire	U _{M1}	$U_{Mm} = \frac{\sum A_M \cdot U_M + \sum A_{PF} \cdot U_{PC}}{\sum A_M + \sum A_{PF}}$	U _{Mm} ≤ U _{Mlim}
	M ₂	Muro en contacto con espacios no habitables	U _{M2}		
	P _{F1}	Puente térmico (contorno de huecos >0,5 m ²)	U _{PF1}		
	P _{F2}	Puente térmico (pilares de fachada >0,5 m ²)	U _{PF2}		
	P _{F3}	Puente térmico (caja de persianas >0,5 m ²)	U _{PF3}		
	H	Huecos	U _H F _H	$U_{Hm} = \frac{\sum A_H \cdot U_H}{\sum A_H}$	U _{Hm} ≤ U _{Hlim}
			$U_{Fh} = \frac{\sum A_H \cdot F_H}{\sum A_H}$	F _{Hm} ≤ F _{Hlim}	

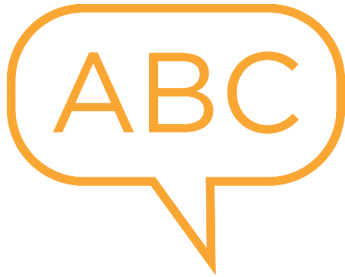
Notas: El cálculo se realizará para la zona de baja carga interna y para la zona de alta carga interna de los edificios.
 La Tabla no es exhaustiva encunto a los componentes de los cerramientos y particiones interiores.

Figura 4. Síntesis del procedimiento de comparación con los valores límites



RESUMEN

- No se puede construir un edificio, del tipo que sea, sin prever un aislamiento térmico para lograr las condiciones de confort con el menor costo energético.
- Existen tres formas de transmisión de calor: conducción, convección y radiación. La más importante es la primera, la de conducción a través de los distintos elementos que conforman el cerramiento del edificio.
- La transmisión de calor a través de cada uno de los elementos que forman el cerramiento, se define por el valor de la transmitancia U.
- El objeto de la exigencia básica HE1 es establecer las características térmicas exigibles a los edificios de nueva construcción con el fin de garantizar el confort térmico de los usuarios y el ahorro energético.
- Para conseguir el cumplimiento de la exigencia de la HE1 es necesario verificar las condiciones establecidas en ellas, bien por la opción simplificada o por la opción general, y si no se cumplieran corregir las condiciones aislantes de los materiales elegidos.



TERMINOLOGIA

Radiación:

Es la onda electromagnética emitida por la superficie de un cuerpo excitado térmicamente.

Resistencia térmica interna:

Es la inversa de la conductividad ($1/\lambda$).

