

GRUPO 3. TEMA 14

FACHADAS EN EL CTE. TIPOS Y SOLUCIONES. CRITERIOS DE DISEÑO Y CÁLCULO. SELECCIÓN DE MATERIALES Y SISTEMAS DE EJECUCIÓN. CONSERVACIÓN Y MANTENIMIENTO

INTRODUCCIÓN

La envolvente de los edificios está compuesta por todos los cerramientos que delimitan los espacios *habitables* con el aire exterior, el terreno u otro edificio, y por todas las particiones interiores que delimitan los espacios habitables con espacios *no habitables* en contacto con el ambiente exterior. Considerando esta condición, los temas 13 y 14 han sido redactados de forma que comparten su estructura y una parte importante del texto general. Los documentos anexos donde se recoge la terminología y los índices empleados y algunos ejemplos de fichas a modo de ejemplos prácticos también son comunes a ambos temas.

Tipos y soluciones de fachadas: La información sobre las soluciones de fachada genéricas y sus prestaciones se recoge en el Catálogo de Elementos Constructivos CEC. El Catálogo es una base de datos que se actualiza a medida que se dispone de nuevos datos y actualmente está parametrizada y se puede consultar mediante una aplicación on line. También está disponible la última versión en pdf que se publicó en Marzo de 2010. En este tema utilizaremos la clasificación de la versión impresa y nos referiremos a la sistemática con la que se ha realizado la parametrización de la base de datos y los términos que emplea para posibilitar la búsqueda de soluciones constructivas. La información que se recoge en el CEC incluye información cuantitativa de las prestaciones higrotérmicas y acústicas de los paramentos, los huecos y las discontinuidades entendiendo por éstas los distintos detalles de las juntas y puntos de encuentro de la envolvente de los edificios.

Criterios de diseño y cálculo. El CTE en su Parte I, define un conjunto exigencias básicas de seguridad (Art. 10, 11 y 12), salubridad. "Higiene, salud y protección del medio ambiente" (Art. 13), protección contra el ruido (Art. 14) y eficiencia energética de los edificios (Art. 15). En este apartado, trazaremos una visión transversal de cómo son tratadas las soluciones de cubierta en los DB con mayor énfasis de los criterios recogidos en los documentos DB HS 1 protección frente a la humedad, DB HR Protección contra el ruido y DB HE1 Limitación de la demanda energética, ya que es en estos documentos donde tiene un papel fundamental el diseño y cálculo de la envolvente de los edificios. Sin embargo, no hay que olvidar la contribución de las cubiertas y sus componentes en el resto de DB y haremos también mención a ello. Así incluiremos una mínima información relativa al papel de las cubiertas en el cumplimiento de las exigencias básicas de seguridad estructural (SE) y seguridad en caso de incendio (SI) y seguridad de utilización y accesibilidad (SUA), que se han tratado específicamente en otros temas del curso.

Selección de materiales y sistemas de ejecución. Cada uno de los Documentos Básicos DB desarrolla lo indicado en el artículo 6 del a Parte I del Código Técnico de la Edificación CTE. Esto es, la definición y justificación de las características técnicas mínimas que deben reunir los materiales y productos, así como las condiciones de ejecución de cada unidad de obra y las verificaciones y controles necesarios para comprobar la conformidad con dichas características definidas y justificadas en el proyecto.

Mantenimiento y conservación. Cada uno de los DB detalla las operaciones de mantenimiento de las soluciones constructivas y los productos así como la periodicidad con la que deben realizarse y las correcciones pertinentes en caso de detectarse defectos. En la documentación final de la obra deberá quedar constancia del nivel de prestación alcanzado y de los condicionantes de uso y mantenimiento del edificio, si existen, que puedan ser necesarios como consecuencia del grado final de adecuación efectiva alcanzado y que deban ser tenidos en cuenta por los propietarios y usuarios". Así mismo el CTE en su Parte I Art. 8 se refiere a el Libro de Edificio establecido en la LOE que contendrá las instrucciones de uso y mantenimiento del edificio terminado.

1. TIPOS Y SOLUCIONES DE FACHADAS

Aquí hablaremos de cómo clasifica el Catálogo de Elementos Constructivos las cubiertas y sus elementos constituyentes. Distinguiremos la parte opaca de la fachada, los huecos o lucernarios y las discontinuidades.

Las prestaciones de las soluciones constructivas de fachadas y cubiertas necesarias para llevar a cabo el diseño y cálculo del proyecto están recogidas en fichas. Cada elemento constructivo está descrito en una ficha individual que puede descargarse en formato pdf de la aplicación informática del CEC. Los datos que se recogen en cada una de ellas son necesarios para realizar el cálculo justificativo de las prestaciones térmicas, acústicas y de salubridad de la solución constructiva. En concreto en el caso de la parte opaca del cerramiento, para el DB-HE Ahorro de Energía Sección HE1: transmitancia térmica U y factor de temperatura de la superficie interior f_{rsi} ; para el DB HS Salubridad: El Grado de Impermeabilidad GI y para el DB-HR Ruido: la masa m_{med} , el índice global de reducción acústica ponderado A, $R_{A,med}$ y el índice global de reducción acústica ponderado A para ruido de automóviles $R_{Atr,med}$. Además de estos valores cada solución constructiva incluye datos de sus componentes, ya sean las capas cuando se trata de la parte opaca del cerramiento o sus elementos constituyentes, marco y vidrio cuando se trata de los huecos. Estos datos son el espesor, la densidad, la conductividad térmica, el factor de resistencia a la difusión del vapor de agua para la parte opaca del cerramiento.

Para los huecos las prestaciones que recoge el CEC además de las mencionadas para el DB-HR Ruido: la masa m_{med} , el índice global de reducción acústica ponderado A, $R_{A,med}$ y el índice global de reducción acústica ponderado A para ruido de automóviles $R_{Atr,med}$, se recogen otros datos que influyen en el valor de la transmitancia del hueco.....para el cálculo de DB-HE Ahorro de Energía Sección HE1, éstos son diversas proporciones y relaciones de los valores Factos solar modificado del hueco FH, Factor de sombra F_s y en el caso del vidrio el Factor solar g

La clasificación de las fachadas que se recoge en la versión impresa del CEC se ha agrupado en familias que tiene en común una sección tipo en la que se identifican cada uno de sus componentes. Los componentes a su vez se presentan en el CEC con sus propiedades características como productos. El CEC no tiene carácter reglamentario, por lo que el proyectista podrá utilizar cualquier solución constructiva no contemplada en él, siempre que justifique el cumplimiento de las exigencias establecidas en el CTE. Lo que viene a confirmar el carácter prestacional que posee en CTE.

Otra aproximación a la clasificación de las fachadas es la que se adopta en la parametrización de la base en su versión online. En este caso el criterio parte el ELEMENTO CONSTRUCTIVO, en este caso EVE Fachadas, la FAMILIA PRINCIPAL, por ejemplo la FAMILIA PRINCIPAL CUYO MATERIAL DE LA HOJA PRINCIPAL es ladrillo, o la FAMILIA PRINCIPAL CUYO TIPO FUNCIONAL es ventilada. Es decir, las soluciones constructivas pueden agruparse y seleccionarse según distintos criterios y a su vez se puede realizar un nuevo filtro por sus prestaciones. Ya sea un valor de una prestación como el Grado de Impermeabilidad al Agua o bien otra prestación térmica o acústica.

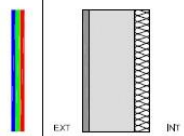
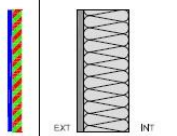
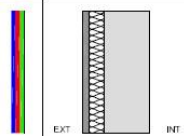
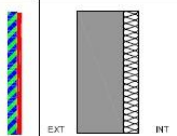
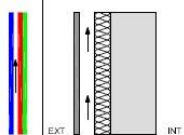
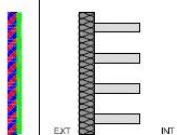
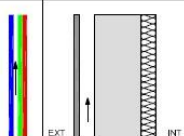
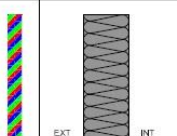
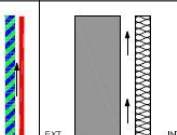
La clasificación de la versión impresa es la siguiente.

Fachadas:

- Fábrica vista, sin cámara o con cámara de aire no ventilada, aislamiento por el interior
- Fábrica vista, con cámara de aire ventilada, aislamiento por el interior
- Fábrica con revestimiento continuo, sin cámara o con cámara de aire no ventilada, aislamiento por el interior
- Fábrica con revestimiento continuo, sin cámara o con cámara de aire no ventilada, aislamiento por el exterior
- Fábrica con revestimiento continuo, con cámara de aire ventilada, aislamiento por el interior
- Fábrica con revestimiento discontinuo, sin cámara o con cámara de aire no ventilada, aislamiento por el interior
- Fábrica con revestimiento discontinuo, con cámara de aire ventilada, aislamiento por el interior
- Fábrica con revestimiento discontinuo, con cámara de aire ventilada, aislamiento por el exterior
- Fábrica sin aislamiento
- Fachada ventilada ligera
- Fachada ligera. No ventilada. Panel sándwich con alma aislante
- Fachada de paneles prefabricados de hormigón. No ventilada. Aislamiento por el interior
- Fachada de hormigón visto, armado in situ. No ventilada. Aislamiento por el interior

- Fachada de GRC. No ventilada. Aislamiento por el interior
- Fachada de entramado estructural de madera, con cámara de aire ventilada
- Muro cortina

A modo orientativo el siguiente cuadro desarrolla estos conceptos con la combinación de soluciones en las que se relaciona el material y posición de las distintas capas con el tipo funcional de la fachada

<p>CONVENCIONAL CON AISLANTE INTERIOR AL SOPORTE.</p> <p>El orden de las envolventes de exterior a interior es: impermeabilidad, aislamiento, soporte.</p> 	<p>HOJA DE SOPORTE AISLANTE. IMPERMEABILIDAD EXTERIOR.</p> <p>Todas aquellas soluciones en que el elemento de soporte asume también la función de aislamiento</p> 
<p>CONVENCIONAL CON AISLANTE EXTERIOR AL SOPORTE O FACHADA ABRIGADA.</p> <p>El orden de las envolventes de exterior a interior es: impermeabilidad, aislamiento, soporte.</p> 	<p>HOJA DE SOPORTE IMPERMEABLE, AISLANTE INTERIOR.</p> <p>Todas aquellas soluciones en que el elemento de soporte asume la función de estanqueidad y el aislamiento térmico se sitúa en la cara interior del soporte.</p> 
<p>VENTILADA CON AISLANTE EXTERIOR</p> <p>La estanqueidad la garantiza una cámara ventilada, hacia el interior se dispone el aislamiento, y después el soporte.</p> 	<p>HOJA AISLANTE E IMPERMEABLE. SOPORTE INTERIOR.</p> <p>Todas aquellas soluciones en las que la hoja exterior asume la función de aislamiento e impermeabilidad.</p> 
<p>VENTILADA CON AISLANTE INTERIOR</p> <p>La impermeabilidad la garantiza una cámara ventilada, hacia el interior se dispone el aislamiento, y después el soporte.</p> 	<p>HOJA DE SOPORTE AISLANTE E IMPERMEABLE</p> <p>Todas aquellas soluciones en que un único elemento realiza todas las funciones (soporte, impermeabilidad e aislamiento)</p> 
<p>VENTILADA CON HOJA EXTERIOR DE SOPORTE</p> <p>Todas aquellas soluciones en que el elemento soporte asume también la función de estanqueidad compartida con una cámara de aire ventilada, el aislamiento se sitúa en la cara interior del soporte, sin ocupar el espacio de la cámara de aire.</p> 	

Tipos de huecos:

La clasificación de ventanas está organizada en función de sus prestaciones acústicas y térmicas, se tiene en cuenta para ello el material del marco, el tipo de vidrio, el número de ventanas en el hueco (sencillas y dobles). Además como elemento independiente están clasificados los capialzados atendiendo a sus prestaciones acústicas.

En la versión paramétrica del CEC el conjunto de las soluciones de huecos se organiza a partir del elemento constructivo en el que se sitúan, por ejemplo EVE_Fachada, el Tipo de Hueco, por ejemplo ventana sencilla, el Tipo de Carpintería; por ejemplo PVC con tres cámaras, el tipo de vidrio, la forma de apertura y si tiene capialzado y aireador.

Como en el caso de las fachadas las aplicaciones que se utilizan para la verificación del cumplimiento de las exigencias básicas acceden directamente a esta información y en la práctica facilitan mucho el proceso de cálculo.

A modo de referencia, ésta es la clasificación que corresponde a la versión impresa.

Ventanas:

Características higrotérmicas

- Ventanas sencillas
- Marco metálico, sin rotura de puente térmico. Sin capialzado.

- Marco metálico, con rotura de puente térmico de espesor, d , comprendido entre 4 y 12 mm. Sin capialzado.
- Marco metálico, con rotura de puente térmico de espesor, d , mayor que 12 mm. Sin capialzado.
- Marco de madera. Sin capialzado
- Marco de PVC, con dos cámaras. Sin capialzado
- Marco de PVC, con tres cámaras. Sin capialzado
- Ventanas dobles

Ventanas. Características acústicas

- Ventanas sencillas
- Ventanas dobles
- Capialzados. Características acústicas

2. CRITERIOS DE DISEÑO Y CÁLCULO

Aquí se explicará ordenadamente qué criterios de diseño hay que aplicar para cumplir la exigencias básicas en cada uno de los Documentos Básicos del CTE en los que se recogen criterios al respecto.

Como se verá, el papel de los cerramientos o envolvente de los edificios aparece ya en el texto que describe varias de las exigencias. En este tema lo señalaremos en **negrita** para destacar su importancia. Los términos utilizados tiene matices específicos. En función de su importancia para la exigencia de la que se trate hay algunas diferencias como por ejemplo es el caso de los muros en contacto con el terreno, que incluiremos en este apartado junto con las fachadas que propiamente son los elementos de la envolvente en contacto con el aire y con una inclinación de menos de 60º respecto al plano vertical (ver apartado Terminología).

Las exigencias básicas deben cumplirse, de la forma que reglamentariamente se establezca, en el proyecto, la construcción, el mantenimiento, la conservación y el uso de los edificios y sus instalaciones, así como en las intervenciones en los edificios existentes. (Parte I CTE)

Exigencia básica de HS 1: Protección frente a la humedad.

"Se limitará el *riesgo* previsible de presencia inadecuada de agua o humedad en el interior de los edificios y en sus **cerramientos** como consecuencia del agua procedente de precipitaciones atmosféricas, de escorrentías, del terreno o de *condensaciones*, disponiendo medios que impidan su penetración o, en su caso permitan su evacuación sin producción de daños."

El procedimiento de verificación¹ del diseño de las fachadas sigue los siguientes pasos:

Comprobación del cumplimiento exigido frente a la penetración de las precipitaciones

- Determinación del Grado de Impermeabilidad G_I exigido en función de la zona pluviométrica promedio y del grado de exposición al viento correspondiente al lugar en que se ubica el edificio

Condiciones exigidas a las soluciones constructivas en función de la existencia o no de revestimiento exterior y del grado de impermeabilidad

Condiciones exigidas a los puntos singulares:

- Juntas de dilatación
- Arranque de fachada desde la cimentación
- Encuentros de la fachada con los forjados
- Encuentros de la fachada con los pilares

¹ En general se utilizan en el DB el término dimensionado cuando el valor se obtienen directamente de tabla sin necesidad de cálculo posterior.

- Encuentros de la cámara ventilada con los forjados y los dinteles
- Encuentro de la fachada con la carpintería
- Antepechos y remates superiores de las fachadas
- Anclajes a la fachada
- Aleros y cornisas

Además añadir como comentario que la exigencia HS 3, Calidad del aire interior y en general todo el resto de exigencias que requieren instalaciones que atraviesen fachadas o cubiertas inciden en el diseño de la protección contra la humedad y la eficiencia energética en tanto que requieren el diseño de estos puntos singulares para asegurar la estanqueidad al aire y al agua y el riesgo de aparición de puentes térmicos y puentes acústicos que están considerados en el cálculo de los correspondientes DDBB del CTE.

Exigencias básicas de protección frente al ruido (HR)

" El objetivo de este requisito básico "protección frente al ruido" consiste en limitar dentro de los edificios y en condiciones normales de utilización, el riesgo de molestias o enfermedades que el ruido pueda producir a los usuarios, como consecuencia de las características de su proyecto, construcción uso y mantenimiento.

Para satisfacer este objetivo, los edificios se proyectarán, construirán, utilizarán y mantendrán de tal forma que **los elementos constructivos que conforman sus recintos** tengan unas características acústicas adecuadas para reducir la transmisión del ruido aéreo, del ruido de impactos y del ruido y vibraciones de las instalaciones propias del edificio, y para limitar el ruido reverberante de los *recintos*."

El procedimiento de verificación sigue los siguientes pasos:

Caracterización y cuantificación de las exigencias

- Obtención de los valores límite de aislamiento
- Obtención de los valores límite de tiempo de reverberación².

Diseño y dimensionado

- Aislamiento acústico a ruido aéreo y ruido de impactos
- Tiempo de reverberación y absorción acústica
- Ruido y vibraciones de las instalaciones³

Para definirlos, el DB HR establece dos opciones:

– La opción simplificada, que contiene soluciones que dan conformidad a las exigencias de aislamiento acústico a ruido aéreo y de impactos. Apartado 2.1.4 de la Guía.

– La opción general, que consiste en un método de cálculo basado en el modelo simplificado de la norma UNE EN 12354, partes 1, 2 y 3. Apartado 3.1.3 del DB HR.

Se adjuntan a modo de ejemplo en Anexo, varias fichas de fachadas, medianeras y cubiertas realizadas aplicando la opción simplificada y la opción general

² El tratamiento de la cara interior de fachadas y cubiertas tiene importancia en el diseño y cálculo del tiempo de reverberación de los recintos.

³ La exigencias de limitación de ruido y vibraciones en los edificios inciden sobre el diseño y cálculo de las cubiertas introduciendo la necesidad en ocasiones de considerar la adecuación de las prestaciones de estanqueidad al agua y seguridad estructural en su diseño.

Tabla 1.1. Resumen de índices de aislamiento utilizados en el DB HR.

	Índices de aislamiento acústico	
	En el edificio	De elementos constructivos.
Ruido aéreo entre recintos	$D_{nT,A}$ (dBA)	R_A (dBA)
Ruido de impactos	$L'_{nT,w}$ (dB)	$L_{n,w}$ (dB)
Ruido aéreo entre un recinto y el exterior	$D_{2m,nT,A,tr}$ (dBA)	$R_{A,tr}$ (dBA)
	índices que expresan el aislamiento exigido en el DB HR	índices utilizados en las opciones de aislamiento del DB HR
	SE PUEDEN ENSAYAR IN SITU'	NO SE PUEDEN ENSAYAR IN SITU SON INDICES QUE SE OBTIENEN EN LABORATORIO

Fig. 1 Fuente Guía de aplicación DB HR

Para determinar las exigencias de aislamiento acústico frente a ruido exterior. Debe determinarse en primer lugar el valor del índice de ruido día L_d , de la zona en la que se encuentra el edificio

Tabla 2.1.1.1. Valores del índice de ruido día en los sectores con predominio de uso diferente del uso residencial, en los casos en los que no se dispongan de datos oficiales provenientes de los mapas de ruido.

Tipo de área acústica ⁵		Índice de ruido día, L_d
E	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso sanitario, docente, cultural , que requiera una especial protección contra la contaminación acústica	60
C	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso recreativo y de espectáculos	73
D	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso terciario distinto del contemplado en C	70
B	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso industrial	75
F	Sectores del territorio afectados a sistemas generales de infraestructuras de transporte u otros equipamientos públicos que los reclamen ⁶	7

Fig. 2 Fuente Guía de aplicación DB HR

Los valores mínimos de aislamiento acústico a ruido aéreo se definen para los recintos en función del uso y de el índice de ruido día del sector se determinan para dichos recintos. Como veremos más adelante, este es un paso previo para definir la exigencia para el caso de cada elemento de la envolvente del edificio. Para el caso de ruido procedente de otros edificios la exigencia para medianerías considera tanto el caso de que vayan a quedar expuestas como el caso del conjunto de los dos cerramientos de edificios colindantes⁴.

La principal novedad del HR frente a la normativa anterior consiste en que no solo se tienen en cuenta las transmisiones directas sino también las indirectas así como aquellas que se transmiten a través de los flancos. El estudio de ruido aéreo y de impacto tanto en la opción simplificada como en la opción general consideran este fenómeno.

La opción general, más compleja, introduce en el cálculo la transmisión por flancos, por lo tanto se puede afinar más el diseño de los elementos constructivos. En el caso de la opción simplificada, como no se pueden analizar las vibraciones que se transmiten por los flancos indirectamente, se establecen unos límites para los elementos constructivos. (ver ejemplos de fichas obtenidas con la opción general y la simplificada)

⁴ En el segundo caso la exigencia $D_{nT,A} > 50$ dBA para el conjunto de dos cerramientos es válida solo a efectos de medición de aislamiento.

Tabla 2.1.2.4 Valores de aislamiento acústico a ruido aéreo, $D_{2m,nT,Abr}$, en dBA, entre un recinto protegido y el exterior, en función del índice de ruido día, L_d .

L_d dBA	Uso del edificio			
	Residencial y hospitalario		Cultural, sanitario ⁽¹⁾ , docente, administrativo	
	Dormitorios	Estancias	Estancias	Aulas
$L_d \leq 60$	30	30	30	30
$60 < L_d \leq 65$	32	30	32	30
$65 < L_d \leq 70$	37	32	37	32
$70 < L_d \leq 75$	42	37	42	37
$L_d > 75$	47	42	47	42

⁽¹⁾ Edificios de uso no hospitalario, es decir, edificios de asistencia sanitaria de carácter ambulatorio, como despachos médicos, consultas, áreas destinadas al diagnóstico y tratamiento, etc.

Fig. 3 Fuente DB HR Protección frente al ruido

Los parámetros acústicos de las fachadas y cubiertas dependen en gran medida de las propiedades del elemento más débil, que es el hueco. Por lo tanto el índice global de reducción acústica ponderado A depende sobre todo del porcentaje de huecos de la fachada como puede comprobarse en la siguiente tabla.

Tabla 2.1.4.23. Tabla 3.4 del DB HR. Parámetros acústicos de fachadas, cubiertas y suelos en contacto con el aire exterior de recintos protegidos

Nivel límite exigido (Tabla 2.1) $D_{2m,nT,Abr}$ dBA	Parte ciega ⁽¹⁾ 100 % $R_{A,v}$ dBA	Parte ciega ⁽¹⁾ ≠ 100 % $R_{A,v}$ dBA	Huecos Porcentaje de huecos $R_{A,v}$ del hueco dBA				
			Hasta 15 %	De 16 a 30%	De 31 a 60%	De 61 a 80%	De 81 a 100%
			$D_{2m,nT,Abr} = 30$	33	35	26	29
$D_{2m,nT,Abr} = 32$	35	35	30	32	34	34	35
			40	27	30	32	
			45	26	29	32	
$D_{2m,nT,Abr} = 34^{(1)}$	36	40	30	33	35	36	36
			45	29	32	34	
			50	28	31	34	
$D_{2m,nT,Abr} = 36^{(1)}$	38	40	33	35	37	38	38
			45	31	34	36	
			50	30	33	36	
$D_{2m,nT,Abr} = 37$	39	40	35	37	39	39	39
			45	32	35	37	
			50	31	34	37	
$D_{2m,nT,Abr} = 41^{(1)}$	43	45	39	40	42	43	43
			50	36	39	41	
			55	35	38	41	
$D_{2m,nT,Abr} = 42$	44	50	37	40	42	43	44
			55	36	39	42	
			60	36	39	42	
$D_{2m,nT,Abr} = 46^{(1)}$	48	50	43	45	47	48	48
			55	41	44	46	
			60	40	43	46	
$D_{2m,nT,Abr} = 47$	49	55	42	45	47	48	49
			60	41	44	47	
$D_{2m,nT,Abr} = 51^{(1)}$	53	55	48	50	52	53	53
			60	46	49	51	

⁽¹⁾ Los valores de estos niveles límite se refieren a los que resultan de incrementar 4 dBA los exigidos en la tabla 2.1, cuando el ruido exterior dominante es el de aeronaves.

⁽²⁾ El índice $R_{A,v}$ de los componentes del hueco expresado en la tabla 3.4 se aplica a las ventanas que dispongan de aireadores, sistemas de microventilación o cualquier otro sistema de abertura de admisión de aire con dispositivos de cierre en posición cerrada y a las ventanas que incluyan cajas de persiana con las persianas subidas.

Fig. 4 Fuente DB HR Protección frente al ruido

Las exigencias de aislamiento acústico para los recintos varían en función del uso del recinto, ya sea protegido o habitable y de dónde se sitúa la fuente emisora de ruido, ya sea en otro recinto o recinto emisor, o bien en el caso de las fachadas y medianeras expuestas, aislamiento acústico a ruido aéreo exterior.

Exigencia básica HE1: Limitación de la demanda energética.

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

El procedimiento de verificación sigue los siguientes pasos.

- Cálculo de los parámetros característicos de la envolvente
 - Transmitancia térmica⁵
 - Factor solar modificado de huecos y lucernarios
- Comprobación de limitación de condensaciones superficiales e intersticiales de los cerramientos
 - Condiciones interiores y exteriores para el cálculo de las condensaciones
 - Relaciones psicrométricas. Cálculo de la presión de saturación y humedad relativa interior.
 - Comprobación de la limitación de condensaciones
 - Condensaciones superficiales
 - Condensaciones intersticiales
- Puentes térmicos⁶

El Documento de Apoyo al DH HE Ahorro de Energía considera un atlas de puentes térmicos entre los que varios son discontinuidades que se ubican en cubiertas y fachadas. Éstos son:

- Pilares integrados en fachada
- Jambas
- Dinteles
- Alféizares
- Capialzados
- Frentes de forjados
- Cubiertas planas
- Esquinas

Para el cálculo de un cerramiento en contacto con el aire exterior, tales como muro de fachada, cubiertas y suelos en contacto con el aire exterior es necesario obtener la transmitancia térmica U, que es la inversa de la resistencia térmica total R.

R se obtiene a partir de las resistencias térmicas de sus capas componentes y de las resistencias térmicas superficiales interior y exterior. La resistencia térmica de cada capa depende de su espesor y de λ , conductividad térmica del material.

Según la expresión

⁵ Es necesario calcular la resistencia térmica total de los elementos constituidos por capas ya sean homogéneas o heterogéneas incluyendo en esto las cavidades ventiladas y no ventiladas.

⁶ Como se ha explicado, los puentes térmicos como consecuencia de las discontinuidades originadas por juntas y encuentros entre elementos constructivos de la envolvente, como tales, también están tratados en el documento HR como puentes acústicos. En cada uno de estos documentos hay una metodología de cálculo específica. Para el cálculo de los puentes térmicos el DB HE ofrece métodos detallados y simplificados.

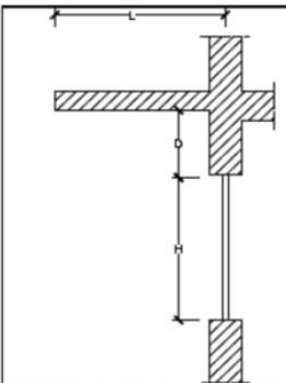
$$R_T = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se}$$

Material	λ (W/mK)	e (cm)	R (m ² K/W)
Capa de aire exterior			0,040
Enfoscado de m. de cemento	1,000	1,50	0,015
Medio pie de LP	0,694	11,50	0,166
Embarrado de m. de cemento	1,000	2,00	0,020
Poliuretano proyectado	0,028	3,00	1,071
Cámara de aire sin ventilar		2,00	0,170
Tabique de LH sencillo	0,444	5,00	0,113
Enlucido de yeso	0,570	1,50	0,026
Capa de aire interior			0,130
RESISTENCIA TOTAL			1,711
TRANSMITANCIA TÉRMICA (U en W/m²K)			0,584

Fig. 5. Ejemplo de cálculo de la transmitancia térmica de un elemento constructivo

Para los huecos el valor de la transmitancia del hueco se obtiene a partir del tipo de marco, el tipo de vidrio y del porcentaje del marco respecto al hueco.

También es necesario verificar la contribución del vidrio a las cargas térmicas del edificio en verano. Para ello se tiene en cuenta el Factor solar modificado de la parte semitransparente del hueco, que depende de la sombra que arrojan sobre el hueco o lucernario los elementos constructivos de la fachada, incluyendo retranqueos y protecciones solares. También es un factor que se considera en este cálculo la absorptividad del marco que depende de su color.



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

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

Fig. 6 Factor de sombra para obstáculo de la fachada. Voladizo

La verificación de la comprobación de las condensaciones superficiales de las cubiertas y fachadas por su cara interior depende de la higrometría del uso del espacio interior y de la temperatura considerada para la zona climática en la que se sitúa el edificio.

La comprobación de condensaciones intersticiales se basa en la comparación entre la presión de vapor y la presión de vapor de saturación que existe en cada punto intermedio de un cerramiento formado por diferentes capas

El Documento de Apoyo al DH HE Ahorro de Energía considera un atlas de puentes térmicos entre los que varios son discontinuidades que se ubican en cubiertas y fachadas. Éstos son:

- Pilares integrados en fachada
- Jambas
- Dinteles
- Alféizares
- Capialzados
- Frentes de forjados
- Cubiertas planas
- Esquinas

Para llevar a cabo el procedimiento de verificación de la envolvente del cumplimiento de los requisitos de Limitación de la Demanda, existen varias herramientas informáticas de apoyo para la comprobación de todas las exigencias de eficiencia energética de los edificios. La contribución de la envolvente térmica, que además de fachadas y cubiertas incluye suelos y muros en contacto con el terreno, particiones interiores de separación de locales no calefactados, etc, también son componentes de esta envolvente. (Se incluyen en anexo varios ejemplos de fichas).

HULC, que permite la Certificación de edificios de nueva planta y existentes.

CERMA, para edificios residenciales existentes y de nueva planta.

CE3X, para edificios existentes.

CE3, para edificios existentes.

Tanto para estas aplicaciones como para la aplicación informática que realiza la opción general de la comprobación de protección contra el ruido de los edificios, los datos de las soluciones de fachada y cubierta que se han presentado en el primer apartado, se seleccionan directamente desde la aplicación de verificación de cumplimiento que está vinculada internamente al CEC.

Además de lo dicho, tendremos presente para el diseño y cálculo de las fachadas que mantengan la resistencia, estabilidad y aptitud de servicio frente a las acciones e influencias previsibles durante las fases de construcción y uso del edificio sin que se produzca deformaciones inadmisibles y no se produzcan degradaciones o anomalías inadmisibles. (SE 1 y SE2). Sin ser exhaustivos enumeraremos además el conjunto de acciones variables sobre elementos de fachadas, cubiertas y elementos como barandillas, y las acciones de viento, nieve y acciones térmicas que deben ser consideradas en el diseño y cálculo de los cerramientos de los edificios.

Así mismo, se realizarán las comprobaciones exigidas en el diseño y cálculo de las fachadas para evitar la propagación del fuego a otros edificios colindantes y al exterior (SI 1 y SI 2) y permitir la intervención de los equipos de rescate y extinción de incendios (SI 5). En concreto tendremos en cuenta la Sección SI 2 Propagación exterior en sus apartados 1 Medianeras y fachadas y 2 Cubiertas. Así como en la sección SI 5 Intervención de los bomberos el apartado 2 Accesibilidad por fachada.

La exigencia básica de Accesibilidad no discriminatoria, independiente y segura de los edificios a las personas también implica requisitos de diseño y cálculo que afectan al diseño de las fachadas.

Finalmente mencionar que para el cumplimiento de la exigencia básica HE 5. Contribución fotovoltaica mínima de energía eléctrica y la exigencia básica HE 4 Contribución solar mínima de agua caliente sanitaria será necesario incorporar criterios de diseño y cálculo de estas instalaciones y además criterios de diseño y adecuación funcional y constructiva de las cubiertas para permitir la integración de estas instalaciones.

3. SELECCIÓN DE MATERIALES Y SISTEMAS DE EJECUCIÓN

Aquí se recogen siguiendo el mismo orden que el apartado anterior los aspectos más destacados sobre las características exigidas para los materiales y productos y los sistemas de ejecución que se prescriben en cada uno de los Documentos Básicos. En varios ellos el Apartado 4, Productos de construcción y el Apartado 5, Construcción, tienen la misma estructura. En DB HE no contiene este apartado.

Productos de construcción

- Características exigibles a los productos
- Características exigibles a los elementos constructivos
- Control de recepción en obra de los productos

Construcción

- Ejecución
- Control de la ejecución
- Control de la obra terminada

HS 1: Protección frente a la humedad

Características exigibles a los productos

Su comportamiento se caracteriza mediante las propiedades hídricas. Cada grupo de componentes se caracteriza por determinadas propiedades hídricas.

En el caso de los aislamientos térmicos y la hoja principal en el caso de las fachadas se caracteriza por la absorción de agua por capilaridad, la succión o tasa de absorción de agua inicial y la absorción de agua a largo plazo por inmersión. Por ejemplo es aplicable a bloques de hormigón visto con limitaciones a la succión máxima o el aislante térmico que en caso de que se disponga por el exterior de la hoja principal debe ser hidrófilo.

En el caso de los productos para impermeabilización las propiedades relevantes son la estanqueidad al agua, la resistencia a la penetración de raíces, el envejecimiento por la exposición prolongada a la combinación de la radiación ultravioleta, el agua y elevadas temperaturas; la resistencia a la fluencia, la estabilidad, envejecimiento térmico, flexibilidad a bajas temperaturas, etc.

En cuanto al control de recepción en obra de los productos se refiere el deber de indicar en el pliego de condiciones de proyecto las condiciones de control y recepción incluyendo los ensayos necesarios. En concreto debe comprobarse que los productos recibidos:

- Corresponden a los especificados en el pliego de condiciones de proyecto:
- Disponen de la documentación exigida
- Están caracterizados por las propiedades exigidas
- Han sido ensayados cuando así lo establezca el pliego de condiciones o lo determine el director de la ejecución de la obra con el visto bueno del director de la obra

En el apartado dedicado a la ejecución y control se detallan las condiciones para cada componente de las fachadas

- Condiciones para la fachada
- Condiciones para el revestimiento intermedio
- Condiciones para el aislante térmico

HR Protección frente al ruido.

Los productos utilizados en edificación que contribuyen a la protección contra el ruido se caracterizan por sus propiedades acústicas que debe proporcionar el fabricante. En productos homogéneos se caracterizan por su masa por unidad de superficie.

Los productos utilizados para aplicaciones acústicas se caracterizan por la resistividad al flujo del aire, la rigidez dinámica y el coeficiente de absorción acústica par las frecuencias 500, 1000 y 2000Hz y el coeficiente de absorción acústica medio.

La parte ciega de la fachadas y de las cubiertas se caracteriza por el -índice global de reducción acústica, el índice global de reducción acústica ponderado A, para ruido de automóviles y el término de adaptación espectral del índice de reducción acústica para ruido rosa incidente C.

El conjunto de elementos que cierra el hueco (ventana, caja de persiana y aireador) de las fachadas y de las cubiertas, se caracteriza por los mismo términos a los que hay que añadir la clase de ventana, según la norma UNE EN 12207.

En fachadas cuando se dispongan aberturas de admisión de aire, según el DB HS 3, o elementos tales como aireadores o sistemas de microventilación, la verificación de la exigencia de aislamiento acústico se realizará con dichos dispositivos cerrados.

En lo que respecta a la ejecución de fachadas y cubiertas la fijación de los cercos de las carpinterías que forman los huecos (puertas y ventanas) y lucernarios, así como la fijación de las cajas de persiana debe realizarse de modo que quede garantizada la estanquidad a la permeabilidad del aire.

4. CONSERVACIÓN Y MANTENIMIENTO

Se seguirá el mismo criterio que el apartado anterior. Del mismo modo, es común a todos los DDBB del CTE que el último apartado se dedica a describir las operaciones de conservación y mantenimiento.

HS 1: Protección frente a la humedad

Indica operaciones de mantenimiento y su periodicidad. Por ejemplo para las fachadas se debe realizar una comprobación cada 3 años del estado de conservación del revestimiento: posible aparición de fisuras, desprendimientos, humedades y manchas, comprobación cada tres años del estado de conservación de los puntos singulares o comprobación cada 5 años de posibles grietas, fisuras o desplomes.

HR Protección frente al ruido

Este documento no especifica operaciones de mantenimiento y conservación en elementos constructivos como fachadas y cubiertas sin que las indicaciones se refieren a los edificios en su conjuntos y los recintos, que deben mantenerse de tal forma que conserven las condiciones acústicas exigidas inicialmente. Las reparaciones, modificaciones y sustitución de materiales o productos en los elementos constructivos, como indicación general deben realizarse con productos y soluciones que no menoscaben las características acústicas.

DB HE no contiene indicaciones de mantenimiento y conservación para la envolvente. La conservación y mantenimiento de los elementos situados en cubiertas o fachadas que forman parte de instalaciones quedan sometidas a un Plan de vigilancia y mantenimiento que incluye operaciones para el conjunto de la instalación.

FUENTES

Código Técnico de la Edificación

<https://www.codigotecnico.org/index.php/menu-documentoscte.html>

Catálogo de elementos constructivos

<https://itec.cat/cec/Pages/BusquedaSC.aspx>

Guía de aplicación del DB HR Protección frente al ruido. Versión V.03 Diciembre de 2016

<https://www.codigotecnico.org/index.php/menu-documentos-complementarios/menu-guia-aplicacion-db-hr.html>

Documento divulgativo DB HE 2013

<https://www.codigotecnico.org/index.php/menu-documentos-complementarios/menu-documento-divulgativo.html>