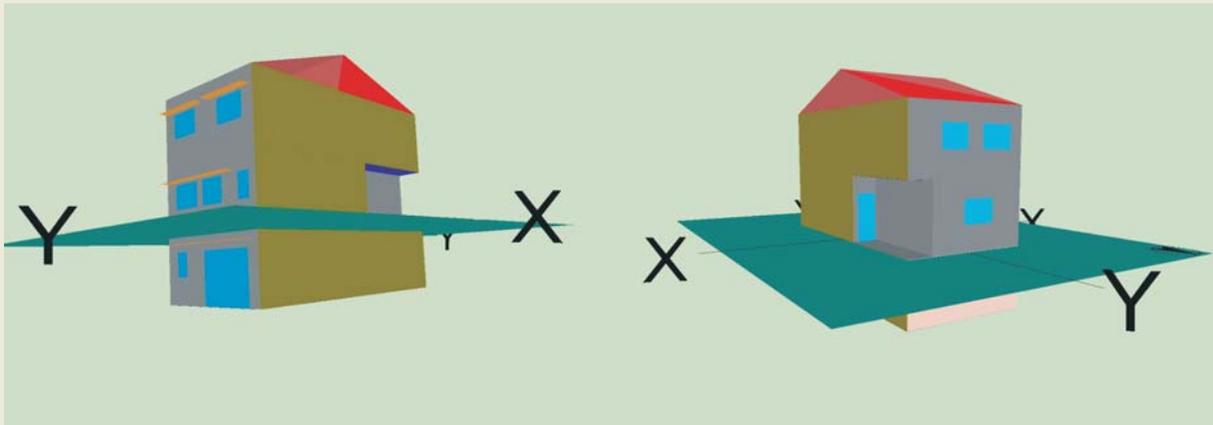


NORMATIVA

**CTE HE I Limitación de demanda energética.
Ejemplo de cálculo y dimensionado.**

Sofía García Fernández.
Javier Serrano Pérez.
Arquitectos.
Dpto. Normativa y Tecnología.



El objeto de este artículo es la aplicación de la parte **HE I Limitación de demanda energética del Documento Básico HE Ahorro de energía del CTE** a un caso concreto para facilitar su uso y comprensión.

Los principales conceptos y estructura del HE I han sido convenientemente expuestos en el artículo anterior de esta misma revista⁽¹⁾ por lo que no incidiremos sobre ellos y nos centraremos en la realización de los cálculos necesarios, uso de las tablas y cumplimentación de las fichas justificativas de la opción simplificada contenidas en el Apéndice H de dicho DB.

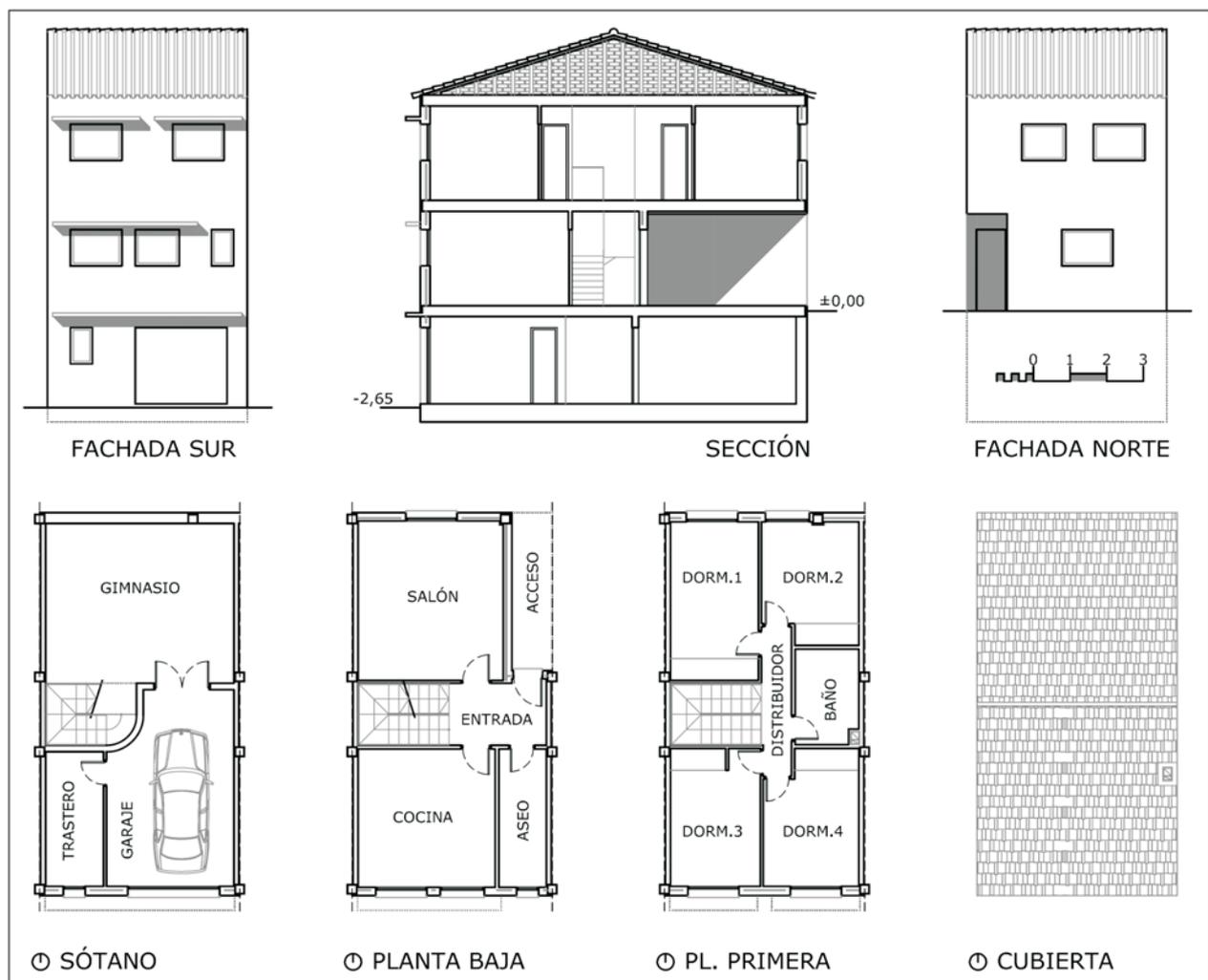
De todas formas, al final de cada apartado se hará una referencia a los artículos del DB HE I que se han usado para los distintos cálculos, tablas, etc., por lo que para ampliar información será necesario remitirse directamente al DB. Esta referencia se hará mediante un texto en cursiva entre paréntesis.

En el apartado de **cálculo y dimensionado** hemos optado por desarrollar únicamente la

opción simplificada (prescriptiva) por ser la que estimamos que será usada en la mayoría de los casos para la justificación del cumplimiento de la limitación de demanda.

Al final del artículo exponemos los resultados de la introducción del ejemplo en el LIDER (**opción general**, prestacional) para comparar los dos métodos.

El edificio utilizado para este caso práctico está basado en un ejemplo que aparece en el programa LIDER llamado Ejemplo I.CTE⁽²⁾. Se trata de una **vivienda unifamiliar entre medianeras** situada en la ciudad de Sevilla, que cuenta con sótano, PB+I y cubierta a dos aguas (con un espacio bajo cubierta no habitable). El edificio está orientado en la dirección N-S y el terreno presenta un desnivel de 2,65 m entre la fachada principal (al Norte) y la posterior (al Sur). Hemos escogido este ejemplo porque permite exponer la aplicación del DB a diversos tipos de cerramientos: bajo rasante, medianeras, porches, cubiertas, etc., abarcando gran parte de los aspectos definidos en el CTE



La **cimentación** de la vivienda consiste en una losa armada de 50 cm. de espesor y un muro de contención en el desnivel del terreno, de hormigón armado de 30 cm. de espesor con trasdosado autoportante de cartón-yeso y aislante en la cámara.

La **estructura** se plantea compartida con las viviendas colindantes, de pilares (25x25 cm.) de hormigón, forjados unidireccionales de hormigón (25+5 cm.) y losas armadas para las zancas de escalera y los vuelos protectores de huecos.

La **cubierta** consiste en un forjado horizontal de hormigón como los intermedios y faldones inclinados sobre tabiquillos con tejas. El espacio intermedio, no habitable, se aísla en su cara inferior con lana de roca.

Las **fachadas** son de doble hoja, formadas por: enfoscado de mortero de cemento (1,5 cm.), fábrica de LP de ½ pie, embarrado (2 cm.), poliuretano proyectado (3 cm.), cámara de aire (2 cm.), tabique de LHS (5 cm.) y enlucido de yeso (1,5 cm.).

Las **medianeras** completas constan de: enlucido de yeso (1,5 cm.), fábrica de LP de ½ pie, poliuretano proyectado (3 cm.), cámara de aire (2 cm.), fábrica de LP de ½ pie y enlucido de yeso (1,5 cm.).

Las **particiones interiores** son: tabiques de LHS entre espacios del mismo uso; tabicones de LHD entre espacios de distinto uso; y ½ pie de LP con una capa de lana de roca (4 cm.) y un trasdosado de cartón-yeso (2,5 cm.) entre el gimnasio y el garaje.

Las **ventanas** son metálicas, con marco de 7 cm de ancho y rotura de puente térmico, acristalamiento doble con cámara de aire (6+6+4) y persiana, salvo la del trastero, que es de vidrio sencillo, sin persiana y con marco de PVC de dos huecos.

Las **puertas** son: la de acceso peatonal, ciega de madera; y tanto la de garaje como la que comunica éste con el gimnasio, metálicas.

El **procedimiento de cálculo y dimensionado** que seguiremos en este caso práctico para la aplicación del HE I es el siguiente:

1. Datos previos.

- 1.1. Zonificación climática.
- 1.2. Clasificación de los espacios.
- 1.3. Definición de la envolvente térmica del edificio.

2. Aplicación de la opción simplificada.

- 2.1. Aplicabilidad.
- 2.2. Cálculo de los parámetros característicos de los componentes de la envolvente térmica.
- 2.3. Limitación de demanda energética.
 - 2.3.1. Comprobación de transmitancias térmicas de componentes.
 - 2.3.2. Cálculo de parámetros característicos medios.
 - 2.3.3. Comprobación de parámetros característicos medios.
- 2.4. Comprobación de limitación de condensaciones.
 - 2.4.1. Condensaciones superficiales.
 - 2.4.2. Condensaciones intersticiales.
- 2.5. Permeabilidad al aire de huecos y lucernarios.

3. Cumplimentación de las fichas justificativas.

Además será necesario comprobar el cumplimiento (en proyecto, ejecución y uso y mantenimiento del edificio) de los apartados 4 *Productos de construcción* y 5 *Construcción* del HE I⁽¹⁾.

1. Datos previos.

En este apartado reflejaremos los parámetros y datos de partida necesarios para la verificación del cumplimiento de la exigencia básica HE I Limitación de demanda. Este apartado es necesario tanto para la Opción Simplificada como para la General, si bien en este último caso los datos se introducirán directamente en el programa LIDER.

1.1. Zonificación climática

Sevilla (capital): zona climática **B4**

(Apéndice D tabla D.1 Zonas climáticas)

En caso de estar en una localidad de la provincia que estuviese a más de 200 m de altitud por encima del nivel de Sevilla (que está a 9 m sobre el nivel del mar) tendríamos que aplicar la parte derecha de la tabla D.1, teniendo en cuenta el desnivel en metros existente entre las dos localidades.

1.2. Clasificación de los espacios

Los espacios definidos en el HE I se componen de recintos, que podrán ser habitables o no habitables, cuya delimitación corresponde con habitaciones o estancias en el caso de viviendas.

La clasificación de los espacios de nuestro edificio en función de si son habitables o no, de su carga interna y de su higrometría (estas dos últimas sólo para espacios habitables) se recoge en la siguiente tabla:

EDIFICIO		ESPACIOS				
Planta	Recinto	Nombre	Espacios habitables			Espacios no habitables
			Carga interna		Higrometría (clase)	
			Baja	Alta		
Sótano	Garaje	E0	-	-	-	X
	Trastero					
	Gimnasio					
Baja	Entrada	E1	X	-	3	-
	Cocina					
	Aseo					
Primera	Salón					
	Dormitorio 1					
	Dormitorio 2					
	Dormitorio 3					
	Dormitorio 4					
Cubierta	Baño	E2	-	-	-	X
	Distribuidor					
Cubierta	Bajo-cubierta					

(artículo 3.1.2 Clasificación de los espacios y Apéndice A Terminología)

1.3. Definición de la envolvente térmica del edificio

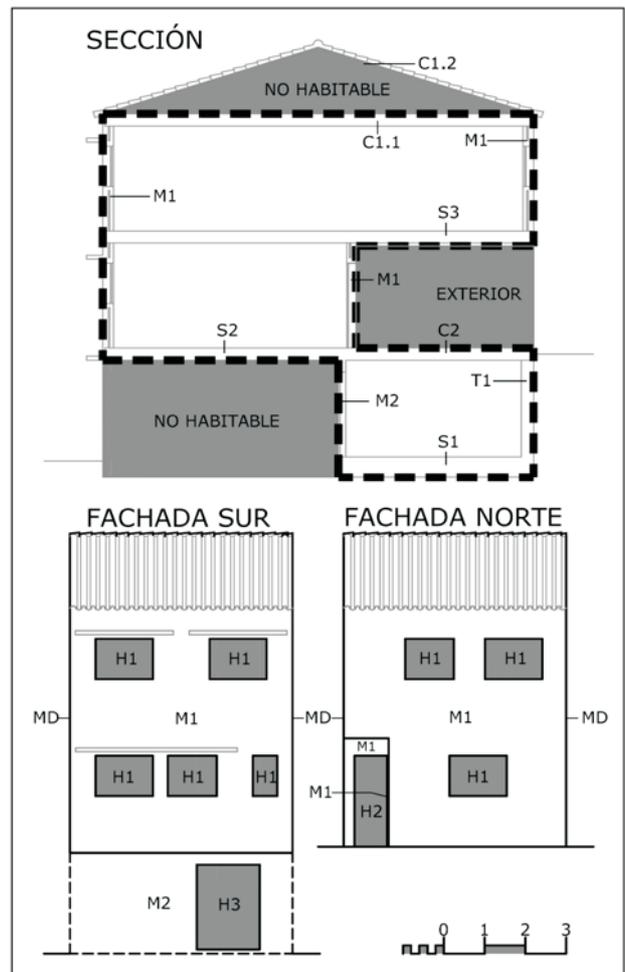
La **envolvente térmica**⁽³⁾ está formada por todos los elementos que separan los espacios habitables del ambiente exterior (aire exterior, terreno y otros edificios) y de los espacios no habitables.

De esta forma el cerramiento exterior del garaje (espacio no habitable) no se considera parte de la envolvente térmica, ya que limita un espacio no habitable del ambiente exterior. Sí forman parte de la envolvente el forjado sobre el garaje, la separación entre el garaje y el gimnasio, etc.

A continuación pasamos a definir y clasificar todos los elementos que componen la envolvente térmica del edificio, tanto los **cerramientos** (fachadas, cubiertas, etc.) en contacto con el ambiente exterior (aire, terreno y otros edificios) como las **particiones interiores** en contacto con espacios no habitables.

La definición de la envolvente térmica y la clasificación de sus componentes se recogen en la figura y la tabla siguientes:

(artículo 3.1.3 Definición de la envolvente térmica del edificio y clasificación de sus componentes, Figura 3.2 Esquema de envolvente térmica de un edificio y Apéndice A Terminología)



ENVOLVENTE TÉRMICA							
Cerramientos y Particiones Internas			Componentes		Contacto	Parámetros Característicos	
	Tipo	Orient.					
Cubiertas	Cubierta	-	CI	CI.1	Forj. bajo cubierta	espacio no habitable	U_{CI}
				CI.2	Cubierta a dos aguas	aire exterior	
	Acceso	-	C2		Forj. PB + Pav Ext	aire exterior	U_{C2}
Muros	Fachada principal	Norte	M1		Fachada	aire exterior	U_{M1}
	Fachada posterior	Sur					
	Acceso	Norte					
	Acceso	Este					
	Partición Interior (Garaje/Gimnasio.)	Sur	M2	Cerram. Interior	espacio no habitable	U_{M2}	
	Muro de sótano	-	T1	Muro de HA	terreno	U_{T1}	
	Medianera	Este	MD	Fáb. Ladrillo	edificio	U_{MD}	
Medianera	Oeste						
Suelos	Solera	-	S1	Solera HA	terreno	U_{S1}	
	Sobre el garaje	-	S2	Forj. PB + Pav Int.	espacio no habitable	U_{S2}	
	Acceso	-	S3	Forj. PI ^a + Pav Int.	aire exterior	U_{S3}	
Huecos	Acristalados	Norte	H1	Carpint. metálica y vidrio 4-6-6	aire exterior	$U_{H,m}$, $U_{H,v}$, U_H y F_H	
		Sur					
	Puerta acceso	Norte	H2	Madera	aire exterior	U_H	
Puerta gimnasio	Sur	H3	Metálica	espacio no habitable	U_H		

Además necesitaremos conocer el **porcentaje de huecos** (puertas y ventanas) en cada fachada de nuestro edificio:

FACHADAS (ENVOLVENTE TÉRMICA)			
Orientación	Superficie total (m ²)	Superficie huecos (m ²)	% huecos
Norte	26,68	5,68	22
Este	10,63	0,00	0
Oeste	0,00	0,00	0
Sur	42,06	9,23	23

2. Aplicación de la opción simplificada.

En este apartado, tras comprobar que cumplimos los requisitos necesarios para aplicar la opción simplificada, desarrollaremos el cálculo de dicha opción, verificando el cumplimiento de las tres **exigencias básicas** cuantificadas en el DB ⁽⁴⁾:

- Demanda energética
- Condensaciones
- Permeabilidad al aire

(artículo 3.2.1.1 Objeto)

2.1. Aplicabilidad

Podemos aplicar la opción simplificada en nuestro edificio ya que el **porcentaje de huecos** en la fachada posterior (Sur) es del 23%, (inferior al límite establecido en el DB que es del **60%**) y no tenemos lucernarios en cubierta. Además se trata de obra nueva, no de rehabilitación, y sólo tenemos soluciones constructivas tradicionales.

(artículo 3.2.1.2 Aplicabilidad)

2.2. Cálculo de los parámetros característicos de los componentes de la envolvente térmica

A continuación procedemos a calcular los **parámetros característicos** que definen cada uno de los componentes de la envolvente de nuestro edificio. Estos parámetros son:

Transmitancia térmica (U en W/m² K):

- Cerramientos en contacto con el aire exterior:

- Fachadas
- Cubierta a dos aguas
- Acceso (suelo y techo)

- Cerramientos en contacto con el terreno:

- Solera
- Muro

- Particiones interiores en contacto con espacios no habitables:

- Forjado bajo cubierta.
- Partición del sótano.
- Forjado sobre el garaje.

- Cerramientos en contacto con otros edificios:

- Medianeras.

- Huecos:

- Ventanas y puertas acristaladas.
- Puertas opacas (acceso y gimnasio).

Factor solar modificado (F (adimensional)):

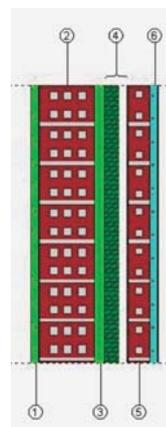
- Huecos:

- Ventanas y puertas acristaladas

En este ejemplo vamos a desarrollar pormenorizadamente el cálculo de algunos elementos, para el resto sólo es necesario aplicar los procedimientos explicados en el *Apéndice E Cálculo de los parámetros característicos de la demanda del HE 1*. Desarrollaremos el cálculo del cerramiento de fachada, de una ventana y de la solera.

A) Cerramiento de fachada.

Cerramiento de fachada de doble hoja, formado por:



1. Enfoscado de mortero de cemento (e=1,5 cm).
2. Medio pie de ladrillo perforado (e=11,5 cm).
3. Embarrado de mortero de cemento (e=2 cm).
4. Cámara de aire de 5 cm. de espesor, con proyectado de poliuretano sobre hoja exterior (e=3 cm.).
5. Tabique de ladrillo hueco sencillo (e=5 cm).
6. Enlucido de yeso (e=1,5 cm).

Para cerramientos en contacto con el exterior la **transmitancia térmica U** (W/m²K) se aplica la siguiente fórmula:

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum R_i + R_{se}}$$

R_i Resistencia térmica de cada capa del cerramiento (m^2K/W)

R_{si} Resistencia térmica superficial del aire interior (m^2K/W) (Tabla E.1)

R_{se} Resistencia térmica superficial del aire exterior (m^2K/W) (Tabla E.1)

R_i se obtiene para cada capa de material según la siguiente fórmula:

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

e espesor de la capa (m).

λ conductividad térmica del material (W/mK).

Para obtener la **conductividad térmica** de los distintos materiales que componen el cerramiento el CTE nos remite a los valores declarados por los fabricantes (según la norma UNE-EN ISO 10 456:2001) o a los datos contenidos en Documentos Reconocidos (DR). El propio CTE dice que el LIDER tiene la consideración de DR, por lo que los datos extraídos directamente de sus bases de datos se pueden considerar válidos a efectos del cumplimiento del HE I⁽⁵⁾.

En el Departamento de Normativa y Tecnología de FIDAS hemos extraído estos datos de las bases del LIDER y los hemos compuesto en unas tablas (**Tablas de propiedades higrotérmicas**) de fácil manejo que están disponibles en nuestra página WEB⁽⁶⁾. Estos datos también pueden obtenerse del DAV Ahorro de Energía⁽⁷⁾ que contiene los mismos datos.

Estas tablas incluyen, además de la conductividad de una extensa serie de materiales, su factor de resistencia a la difusión del vapor de agua, la resistencia térmica de las cámaras de aire y transmitancias y factores solares en vidrios y marcos de huecos. Estos datos serán necesarios para diversos cálculos del HE I.

El cálculo final queda resumido en la siguiente tabla:

Material	λ (W/mK)	e (cm)	R (m^2K/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/m^2K)			0,584

(Apéndice E, apartado E.1.1 Cerramientos en contacto con el aire exterior y Tablas de propiedades higrotérmicas).

B) Ventana.

Los parámetros característicos de un hueco son la **transmitancia térmica** (U_H en W/m^2K) y el **factor solar modificado** del hueco (FH).

En nuestro caso se trata de ventanas de carpintería metálica blanca con rotura de puente térmico entre 4-12 mm y vidrio doble 6-6-4. Escogemos la ventana del aseo de planta baja para hacer el ejemplo.

B.1) Cálculo de la transmitancia térmica.

Usaremos la expresión:

$$U_H = (1-FM)U_{H,v} + FMU_{H,m}$$

$U_{H,v}$ transmitancia térmica de la parte semitransparente (vidrio) ($W/m^2 K$).

$U_{H,m}$ transmitancia térmica del marco de la ventana o lucernario, o puerta ($W/m^2 K$).

FM fracción del hueco ocupada por el marco.

$U_{H,v}$ y $U_{H,m}$ se pueden obtener de las Tablas de propiedades higrotérmicas⁽⁶⁾ antes mencionadas.

$$FM = A_{\text{marco}}/A_{\text{hueco}} = 0,20/0,60 = 0,34$$

En nuestro caso:

$$U_H = (1-0,34) 3,30 + 0,34 4,00 = 3,538 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$

Hemos decidido realizar el cálculo de la ventana del aseo de planta baja, ya que es la que presenta una **proporción marco/hueco** mayor. Al ser la transmitancia de nuestro marco mayor que la del acristalamiento, si aplicamos esa U_H a todos los huecos acristalados estaremos del lado de la seguridad y nos ahorraremos realizar el cálculo de cada tipo de ventana. En el caso de $U_{H,v} > U_{H,m}$ elegiríamos el hueco con menor fracción marco/hueco.

Si no queremos hacer esta simplificación deberemos calcular una U_H para cada tipo de ventana (con proporciones distintas de marco/hueco).

(Apéndice E, apartado E.1.4.1 Transmitancia térmica de huecos y Tablas de propiedades higrotérmicas)

B.2) Cálculo del factor solar.

Para su cálculo se usa la expresión:

$$F = F_s [(1-FM) g_{\perp} + FM 0,04 U_{H,m} \alpha]$$

- F_s factor de sombra del hueco o lucernario (tablas E.11 a E.15 o 1,00 si no se justifica adecuadamente)
- FM fracción del hueco ocupada por el marco
- g_{\perp} factor solar de la parte semitransparente del hueco (Tablas de propiedades higrotérmicas)
- $U_{H,m}$ transmitancia térmica del marco de la ventana o lucernario, o puerta ($W/m^2 K$) (Tablas de propiedades higrotérmicas)
- α absortividad del marco (tabla E.10 o Tablas de propiedades higrotérmicas)

En nuestro caso:

$$F = 1,00 [(1-0,34) 0,75 + 0,34 0,04 4,00 0,30]$$

$$F = 0,511$$

Hemos decidido tomar $F_s = 1,00$ y no aplicar las tablas del CTE, quedándonos del lado de la seguridad, para simplificar los cálculos.

(Apéndice E, apartado E.2 Factor solar de huecos y lucernarios y Tablas de propiedades higrotérmicas)

C) Solera

Nuestra solera está en un caso intermedio entre suelo a profundidad $< 0,50$ m (**CASO 1**) y suelo a prof. $> 0,50$ m (**CASO 2**) (ver apartado E.1.2.1 Suelos en contacto con el terreno) ya que existe un desnivel entre la fachada N y la S,

En la figura 3.2 Esquema de la envolvente térmica de un edificio del DB aparece una solera en situación similar a la nuestra y la clasifica como S_1 (suelo apoyado en el terreno, CASO 1), que está del lado de la seguridad al ser el comportamiento térmico más desfavorable.

Por lo tanto la solera la calcularemos como **suelo apoyado en el terreno** (E.1.2.1 Suelos en contacto con el terreno, CASO 1), calculando la U_s de la solera y la del primer metro de solera (según la Tabla E.3 Transmitancia térmica U_s en $W/m^2 K$).

No se tiene en cuenta la composición de la solera, sino que el cálculo se centra en las pérdidas por el borde de la misma.

Necesitaré colocar **aislamiento perimetral** con toda seguridad (ver tabla de U máximas en el punto 2.3.1. Comprobación de transmitancias térmicas de componentes de este artículo), así que colocaré una banda de 1 m de ancho y 3 cm de espesor de poliuretano in situ ($\lambda = 0,028 W/mK$).

Al realizar los cálculos para la solera obtenemos:

$$Ra \text{ (Resist. térmica del aislante)} = e/\lambda = 1,07 m^2K/W.$$

$$D \text{ (ancho de la banda de aislamiento)} = 1,0 m.$$

$$B' = 1 \text{ (para el primer metro de solera).}$$

$$U_s \text{ (primer metro de solera)} = 1,01 W/m^2 K.$$

$$A \text{ (área de la solera)} = 26,67 m^2$$

$$P \text{ (perímetro de la solera)} = 11,62 m \text{ (sólo tenemos en cuenta el perímetro en contacto con el exterior y espacios no habitables, no en las medianeras)}$$

$$B' = A / (0,5 P) = 4,59 m.$$

$$U_s \text{ (solera)} = 0,62 W/m^2 K \text{ (interpolando en la tabla E.3)}$$

(Apéndice E, apartado E.1.2.1 Suelos en contacto con el terreno)

Así procederíamos a calcular las transmitancias (U) y, en su caso, los factores solares (F) de los distintos elementos siguiendo los métodos contenidos en el Apéndice E del DB HE I. No vamos a desarrollar su cálculo pero sí nos detendremos en ciertas consideraciones sobre el cálculo de algunos elementos:

- a) Cubierta.
- b) Garaje.
- c) Puerta de acceso.
- d) Puentes térmicos.
- e) Medianeras.
- f) Muro de sótano.

a) Cubierta

En nuestro ejemplo la cubierta se calcula mediante el apartado E.1.3.1 *Particiones interiores en contacto con espacios no habitables*, para lo cual se le aplicará a la **transmitancia térmica** del forjado bajo cubierta (U_p) un **coeficiente de reducción de temperatura** (b) que se obtiene de la tabla E.7:

$$U = U_p \cdot b$$

Para el cálculo de U_p se considera $R_{si} = R_{se} = 0,10 \text{ m}^2\text{K/W}$ (Tabla E.6), ya que el aire en las dos caras de la partición se considera como interior. Tomamos el sentido del flujo ascendente ya que la limitación de demanda se calcula en régimen de calefacción.

Obtenemos b de la Tabla E.7 *Coficiente de reducción de temperatura* en función de la posición del aislamiento (en nuestro caso consideramos el aislamiento en el forjado, no en la cubierta), de la relación (A_{iu}/A_{ue}) entre el área de forjado (A_{iu}) y de la cubierta (A_{ue}) y del nivel de estanqueidad del espacio bajo-cubierta (Tabla E.8).

Hemos considerado un nivel de estanqueidad 3 (*todos los componentes bien sellados, pequeñas aberturas de ventilación permanentes*) para el espacio no habitable.

b) Garaje.

Con el tabique entre el garaje y el gimnasio y con el forjado sobre el garaje actuaremos de la misma forma que con la cubierta, pero entrando con los valores correspondientes en las tablas E.6, E.7 y E.8.

Consideramos un nivel de estanqueidad 4 (*Poco estan-*

co, a causa de juntas abiertas o presencia de aberturas de ventilación permanentes) por la puerta de acceso del coche.

c) Puerta de acceso.

La consideración sobre las **puertas no acristaladas** no está clara en el DB, tal y como hemos visto en el artículo anterior⁽¹⁾. Nosotros nos acogemos a la interpretación del DAV⁽⁷⁾, que dice que sólo es necesario calcular U_{H1} , no el factor solar, y lo calcularemos igual que si fuera un cerramiento en contacto con el exterior (*apartado E.1.1*) de una capa de 3-4 cm de madera maciza (usando $\lambda = 0,20 \text{ W/mK}$ para la madera).

Igual haremos con la puerta del gimnasio (dos planchas de metal de 2 mm de acero y una cámara de aire de 2-3 cm), pero considerando que es un cerramiento en contacto con espacio no habitable (*apartado E.1.3.1*).

d) Puentes térmicos.

Es necesario calcular los **puentes térmicos integrados en los cerramientos** (pilares, contorno de huecos y cajas de persianas). Tal y como figura en el *apartado E.1.1* se deben calcular como cerramientos en contacto con el aire exterior. También podemos recurrir a los valores del DAV⁽⁷⁾ para no tener que calcularlos:

Puentes térmicos de pilares

Pilares: $U_{PF2} = 0,50 \text{ W/m}^2 \text{ K}$

Puentes térmicos de contorno de huecos:

Mochetas: $U_{PF1} = 0,50 \text{ W/m}^2 \text{ K}$

Alféizar: $U_{PF1} = 0,50 \text{ W/m}^2 \text{ K}$

Puentes térmicos de caja de persiana:

Caja de persiana: $U_{PF3} = 0,40 \text{ W/m}^2 \text{ K}$

e) Medianeras.

Calculamos la transmitancia térmica de las medianeras según el apartado E.1.1 *Cerramientos en contacto con el aire exterior*, pero considerando las resistencias superficiales en las dos caras como **interiores**.

(Apéndice E, apartados E.1 *Transmitancia térmica* y E.2 *Factor solar modificado de huecos y lucernarios* y Tablas de propiedades higrótérmicas).

f) Muro de sótano.

Para el muro de sótano **en contacto con el terreno** (muro N del gimnasio), hemos calculado una

$$R_m \text{ (Resistencia térmica del muro)} = 1,386 \text{ m}^2\text{K/W}$$

y con ese dato hemos interpolado en la *Tabla E.5 Transmitancia térmica de muros enterrados U_T en $W/m^2 K$* obteniendo:

$$U_T \text{ (primer metro de muro)} = 0,526 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$

$$U_T \text{ (muro)} = 0,393 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$

2.3. Limitación de demanda energética.

Para la verificación del cumplimiento de la limitación de demanda energética es necesario realizar una **doble comprobación**, por un lado para las zonas de baja carga interna y por otro para las de alta carga interna. En nuestro caso no tenemos zonas de alta carga interna, así que el proceso se simplifica.

2.3.1. Comprobación de transmitancias térmicas de componentes.

Comprobaremos que las transmitancias térmicas de los distintos elementos calculados en el punto 2.2 de este artículo no superan los límites establecidos en el DB. Esta es una comprobación por elementos constructivos, encaminada a evitar descompensaciones entre la calidad térmica de los distintos espacios.

Se debe comprobar que la transmitancia térmica de los distintos componentes de la envolvente es inferior a los **valores límite** que figuran en la *Tabla 2.1 Transmitancia térmica máxima de cerramientos y particiones interiores de la envolvente térmica (U en W/m^2K)*.

Como vimos en el apartado 1.1. *Zonificación climática*, nos encontramos en una zona B4, así que usaremos los datos contenidos en esa columna.

No se comprueban las transmitancias térmicas máximas de puentes térmicos ni de huecos no acristalados, ya que no figuran valores límite para estos elementos, aunque sí influirán en el cálculo de los parámetros característicos medios.

Resumimos en la siguiente tabla el cumplimiento de este apartado:

CERRAMIENTOS Y PARTICIONES INTERIORES DE LA ENVOLVENTE TÉRMICA		U (W/m^2K)	
		Proyecto	Máxima
Muros de fachada	MI	0,584	1,07
Primer metro del perímetro de suelos apoyados y muros en contacto con el terreno	TI	0,526	
	SI	1,01	
Particiones interiores en contacto con espacios no habitables	M2	0,660	0,68
Suelos	SI	0,62	
	S2	0,41	
	S3	0,58	
Cubiertas	CI	0,385	0,59
	C2	0,54	
Vidrios de huecos y lucernarios ($U_{H,v}$)	HI _v	3,30	5,70
Marcos de huecos y lucernarios ($U_{H,m}$)	HI _m	4,00	
Medianerías	MD	0,530	1,07

(artículo 2.1 Demanda energética)

2.3.2. Cálculo de parámetros característicos medios

A continuación pasamos a calcular los **parámetros característicos medios (U_m y F_m)** por categorías de elementos y orientaciones, ponderando los paráme-

tros característicos en función de la superficie total para cada caso.

Estos parámetros medios se calculan utilizando las fórmulas de la tabla 3.1 para los distintos componentes de la **envolvente**. Por ejemplo, en muros:

$$U_{Mm} = \frac{\sum A_M \cdot U_M + \sum A_{PF} \cdot U_{PF}}{\sum A_M + \sum A_{PF}}$$

Los parámetros que hay que calcular y la forma de obtenerlos han sido suficientemente explicados en el artículo *CTE HE Limitación de demanda energética* de esta revista, por lo que no nos detendremos en su explicación, simplemente realizaremos algunas puntualizaciones:

- Las **áreas** de los cerramientos (fachadas, cubiertas, etc) se miden desde el interior.
- En el estudio de los parámetros característicos medios sí entra la transmisión térmica (U) de **puentes térmicos** y de **huecos no acristalados** (ver DAV), por lo que es necesario realizar su cálculo.
- Los **lucernarios** se tratan como integrados en la cubierta, por lo que afectan a la U_C , pero los huecos verticales (puertas, ventanas, etc) se tratan aparte. Sí se calcula aparte el factor solar modificado de lucernarios.
- No se calcula el parámetro característico medio de las **medianeras** (no existe fórmula ni límite para ellas), pero sí tienen una limitación de la U del elemento (*tabla 2.1 Transmisión térmica máxima de cerramientos y particiones interiores de la envolvente térmica* (U en W/m² K)).

Los parámetros característicos medios para nuestro ejemplo aparecen reflejados la tabla de la página siguiente.

(artículo 3.2.2.1 *Parámetros característicos medios y Tabla 3.1 Síntesis del procedimiento de comparación con los valores límite*)

2.3.3. Comprobación de parámetros característicos medios.

Para completar la verificación de la limitación de demanda es necesario comprobar que los **parámetros característicos medios** obtenidos son inferiores a los límites establecidos por el DB HE1, contenidos en las *Tablas 2.2 Valores límite de los parámetros característicos medios*.

En nuestro caso utilizaremos la tabla correspondiente a la zona climática B4. Esta tabla nos da unos **valores límite** para los distintos parámetros característicos medios. Los límites de la transmitancia de huecos U_{Hlim} y factor solar modificado de huecos F_{Hlim} se obtienen en función del porcentaje de huecos de cada fachada y de su orientación.

Así tendremos para la zona B4:

Transmitancia límite de muros de fachada y cerramientos en contacto con el terreno:

$$U_{Mlim} = 0,82 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Transmitancia límite de suelos:

$$U_{Slim} = 0,52 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Transmitancia límite de cubiertas:

$$U_{Clim} = 0,45 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Transmitancia límite de huecos:

- Norte (21-30 % huecos) $U_{Hlim} = 3,3 \text{ W/m}^2\text{K}$

- Sur (21-30 % huecos) $U_{Hlim} = 5,7 \text{ W/m}^2\text{K}$

Factor solar modificado límite de huecos:

- Norte: no es necesaria ninguna comprobación.

- Sur (21-30 % huecos) $F_{Hlim} = -$

En nuestro ejemplo no es necesario el cálculo del factor solar modificado de huecos ya que las tablas no marcan ningún límite para las condiciones de orientación y porcentaje de huecos de nuestro edificio.

La comprobación de los parámetros característicos medios para nuestro ejemplo aparece reflejada en la siguiente tabla:

COMPROBACIÓN DE PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS MEDIOS				
Cerramientos y Particiones Interiores		Parámetros Caract. Medios		
Categoría	Orient.	P.C.M.	Proy.	Máx.
Muros	Norte	U_{Mm}	0,56	0,82
	Sur	U_{Mm}	0,60	
	Este	U_{Mm}	0,58	
	C Terreno	U_{Tm}	0,39	
Suelos	-	U_{Sm}	0,53	0,52
Huecos	Norte	U_{Hm}	3,35	3,30
		F_{Hm}	-	-
	Sur	U_{Hm}	3,10	5,70
		F_{Hm}	0,33	-
Cubiertas	-	U_{Cm}	0,40	0,45

(artículo 3.2.2.2 Valores límite de los parámetros característicos medios y Tablas 2.2 Valores límite de los parámetros característicos medios).

Como se puede comprobar, aunque cumplíamos los límites para los distintos componentes de la envolvente, al hacer el cálculo de los parámetros medios nos encontramos con algunos que no cumplen.

Concretamente, deberíamos mejorar el comportamiento de:

- Huecos en la fachada norte.
- Suelos.

Podríamos cambiar el tipo de vidrio en la fachada norte para mejorar su comportamiento, pasando a un 4-9-6, con lo que obtendríamos un:

$$U_H = (1-0,34) \cdot 3,00 + 0,34 \cdot 4,00 = 3,34 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$

En suelos, decidimos aumentar el grosor del **aislamiento** a 4 cm, obteniendo $R_a = 1,43 \text{ m}^2 \text{ K/W}$, y:

$$U_s (\text{solera}) = 0,57 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$

Todos estos cambios mejoran el comportamiento de la envolvente y quedan reflejados en las fichas justificativas al final de este artículo.

2.4. Comprobación de limitación de condensaciones.

A continuación pasamos a la verificación del cumplimiento de la exigencia de **control de condensaciones**. Esta verificación se debe realizar para las condensaciones superficiales y para las intersticiales.

Para ello utilizaremos datos de transmitancia térmica de los componentes estudiados en la limitación de demanda.

2.4.1. Condensaciones superficiales.

Es necesario realizar esta comprobación para **cerramientos y puentes térmicos**.

Como ya vimos en el artículo anterior, el cumplimiento de los valores de **transmitancia máxima de la tabla 2.1** asegura la verificación de la comprobación de limitación de condensaciones superficiales en los cerramientos para los espacios de **higrometría 4 o inferior**.

En nuestro caso, al estar en espacios de higrometría 3 y cumplir con las limitaciones de la tabla 2.1, sólo tendremos que realizar esta comprobación para los puentes térmicos.

Esta comprobación sería necesaria para **todos los puentes térmicos**, tanto para los integrados en cerramientos (contorno de huecos, pilares, etc) como para los de encuentros de cerramientos (frentes de forjados, esquinas de fachadas, etc) y otros.

Hasta la aparición de Documentos Reconocidos que aclaren el cálculo de estos puentes térmicos, el apartado G.2.1.1 nos remite a unas normas UNE complejas de difícil aplicación directa. Hemos tomado la decisión de hacer la comprobación sólo en los **puentes térmicos integrados**, cuyo cálculo es igual que el de los cerramientos.

Para verificar su cumplimiento, debemos justificar que se cumple que:

$$f_{Rsi} \geq f_{Rsi,min}$$

$$f_{Rsi} = 1 - 0,25 \cdot U$$

$f_{Rsi,min}$ Sale de la *Tabla 3.2 Factor de temperatura de la superficie interior mínimo* $f_{Rsi,min}$, en nuestro caso, con una higrometría 3 y una zona B es igual a 0,52.

Despejando obtenemos:

$$f_{Rsi} = 1 - 0,25 \cdot U \geq f_{Rsi,min}$$

$$U \leq (1 - f_{Rsi,min}) / 0,25$$

$$U \leq 1,92$$

Como hemos visto en d) Puentes térmicos del punto 2.2. Cálculo de los parámetros característicos de los componentes de la envolvente térmica de este artículo, la U_{PF} máxima en este ejemplo es de

$$U_{PF1} = U_{PF2} = 0,50 \text{ W/m}^2\text{K} \leq 1,92$$

Así que cumplimos en todos los puentes térmicos integrados en fachada.

(artículo 3.2.3.1 Condensaciones superficiales y Apéndice G Condensaciones).

2.4.2. Condensaciones intersticiales.

Esta comprobación es necesaria para todos los **cerramientos** (no para puentes térmicos), excepto:

- Los que estén en contacto con el terreno.
- Los que dispongan de barrera contra el paso de vapor de agua en la parte caliente del cerramiento.

Su cálculo es similar al que se realizaba para el cumplimiento de la CT 79, si bien ahora se comparan **presiones de vapor y de vapor de saturación** para cada capa del cerramiento. El procedimiento viene explicado en el apartado G.2.2 Condensaciones intersticiales del DB.

Existen algunos programas informáticos que permiten realizar esta comprobación de manera sencilla. Nosotros hemos optado por el uso de **eCondensa 0.91 - Cálculo de condensaciones conforme al CTE**⁽⁸⁾, por ser una aplicación gratuita de fácil manejo.

MATERIAL	λ (W/m-K)	μ (m)	R (m ² -K/W)	μ	Temp. (°C)	Presión de saturación (Pa)	Presión de vapor (Pa)	Condensación Acumulada (gr/m ²)
Capa aire exterior			0,04		10,91	1304,397	1016,001	Sep
1 Bloque de cemento o cal para albañ.	1	1,5	0,015	10	10,99	1311,326	1026,333	
2 1/2 pie LP métrico o catalán 40 mm	0,09	11,5	0,185	10	11,87	1389,998	1105,545	
Mortero de cemento o cal para albañ.	1	2	0,020	10	11,97	1399,775	1119,321	
PUF Protección con Hidrofluorocarb.	0,028	3	1,071	60	17,66	2020,306	1243,306	
5 Cámara de aire sin ventilár	2	0,170	1	1	18,57	2138,211	1244,683	
6 Tabique de LH sencillo [40 mm + E1]	0,444	5	0,112	10	19,16	2219,507	1279,123	
7 Entablado de yeso 1000 x d = 1300	0,57	1,5	0,026	6	19,30	2238,910	1285,323	
8 Capa aire interior			0,13		20	2336,951	1285,323	

Tras introducir los datos del cerramiento de fachada (M1) usando la base de datos del CTE contenida en el programa obtenemos lo siguiente:

Como vemos en todos los casos la Presión de vapor

R m ² -K/W)	μ	Temp. (°C)	Presión de saturación (Pa)	Presión de vapor (Pa)	Condensación Acumulada (gr/m ²)
0.04		10.91	1304.397	1016.001	Sep
0.015	10	10.99	1311.326	1026.333	
0.165	10	11.87	1389.998	1105.545	
0.020	10	11.97	1399.775	1119.321	
1.071	60	17.66	2020.306	1243.306	
0.170	1	18.57	2138.211	1244.683	
0.112	10	19.16	2219.507	1279.123	
0.026	6	19.30	2238.910	1285.323	
0.13		20	2336.951	1285.323	

es inferior a la de saturación, así que no se producen condensaciones en el interior del cerramiento M1.

El valor de μ (resistencia a la difusión del vapor de agua) para cada material se puede obtener de las *Tablas de propiedades higrotérmicas*.

Esto sería necesario realizarlo para el resto de **cerramientos** del edificio: M2, C1, C2, S2 y S3.

(artículo 3.2.3.2 Condensaciones intersticiales, Apéndice G Condensaciones y Tablas de propiedades higrotérmicas).

2.5. Permeabilidad al aire de huecos y lucernarios.

Para terminar la comprobación de la limitación de demanda energética hemos de cumplir la exigencia básica de **permeabilidad al aire de carpinterías de huecos**.

Ya sabemos que no es necesario realizarla para las puertas de acceso (ya que no tienen marco en sus cuatro lados), en nuestro caso sólo las comprobaremos en los **huecos acristalados**.

Como estamos en una zona climática B, necesitamos unas carpinterías de hueco de con una permeabilidad al aire inferior a 50 m³/h m², es decir las carpinterías deben ser al menos de **clase I**.

(artículos 2.3 Permeabilidad al aire y 3.2.4 Permeabilidad al aire).

3. Cumplimentación de las fichas justificativas.

Por último, es necesario reflejar el cumplimiento de la **opción simplificada** en los **modelos de fichas justificativas** que aparecen en el Apéndice H:

FICHA 1: Cálculo de los parámetros característicos medios (2 páginas).

FICHA 2 CONFORMIDAD Demanda energética.

FICHA 3 CONFORMIDAD - Condensaciones.

El Departamento de Normativa y Tecnología de FIDAS ha elaborado una sencilla **hoja de cálculo** en Excel para la cumplimentación de estas fichas que proporciona los parámetros característicos medios a partir de los parámetros característicos de los componentes y sus áreas.

Estas fichas están a disposición de los colegiados ⁽⁶⁾ en formato de texto y de hoja de cálculo para su uso en la aplicación de la opción simplificada del DB HE I.

Las fichas convenientemente cumplimentadas para este ejemplo aparecen al final de este artículo.

Hemos reflejado en ella todos los datos obtenidos en el procedimiento de cálculo, incluyendo la definición final del edificio (con los cambios realizados en los vidrios de la fachada N y en la solera).

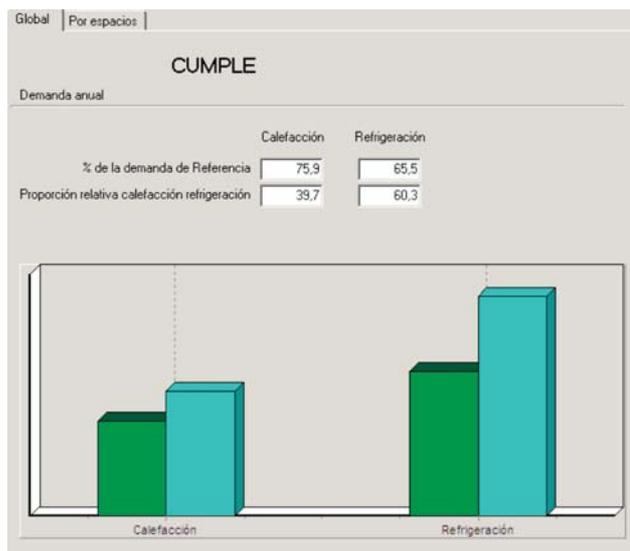
(Apéndice H Fichas justificativas de la opción simplificada).

Opción general.

Finalmente hemos introducido el edificio en el LIDER (opción general) para comparar los dos métodos, obteniendo los siguientes resultados:

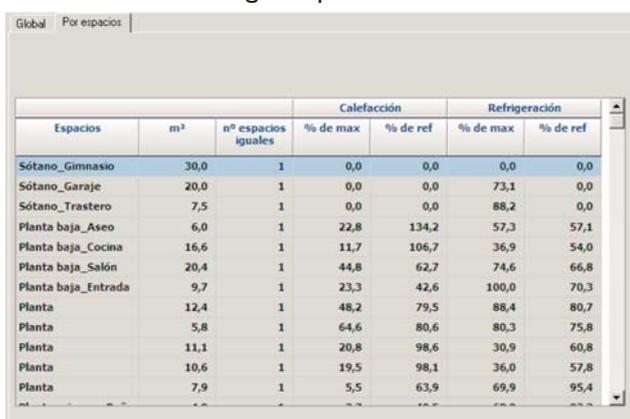
Se comprueba que tanto la **demanda de calefacción** como la de **refrigeración** son menores que las del edificio de referencia, luego el edificio, en principio, cumpliría la normativa.

La barra es de color azul para el **edificio de referencia**, y de color verde para el **edificio objeto** (si su demanda es menor que la del edificio de referencia; si fuese mayor, aparecería de color rojo).



Se muestra la proporción relativa de la calefacción y la refrigeración, de forma que la suma de ambas es 100. En el ejemplo, la refrigeración es bastante mayor que la calefacción (lógico en una zona climática B4 como Sevilla). Si una de las demandas fuese inferior al 10% de la otra no se tendría en cuenta para la verificación de la normativa.

La información detallada de cada **espacio** del edificio se ofrece en la segunda pestaña de resultados:



Espacios	m²	nº espacios iguales	Calefacción		Refrigeración	
			% de max	% de ref	% de max	% de ref
Sótano_Gimnasio	30,0	1	0,0	0,0	0,0	0,0
Sótano_Garaje	20,0	1	0,0	0,0	73,1	0,0
Sótano_Trastero	7,5	1	0,0	0,0	88,2	0,0
Planta baja_Aseo	6,0	1	22,8	134,2	57,3	57,1
Planta baja_Cocina	16,6	1	11,7	106,7	36,9	54,0
Planta baja_Salón	20,4	1	44,8	62,7	74,6	66,8
Planta baja_Entrada	9,7	1	23,3	42,6	100,0	70,3
Planta	12,4	1	48,2	79,5	88,4	80,7
Planta	5,8	1	64,6	80,6	80,3	75,8
Planta	11,1	1	20,8	98,6	30,9	60,8
Planta	10,6	1	19,5	98,1	36,0	57,8
Planta	7,9	1	5,5	63,9	69,9	95,4

Se observa en este cuadro el porcentaje del máximo valor hallado entre todos los espacios: el espacio con mayor demanda aparece con el número 100; el resto con el porcentaje respecto al valor máximo. Esta columna ayuda a localizar los espacios que mayor contribución tienen a la demanda.

Vemos también aquí el porcentaje de la demanda respecto a la de referencia. Como para el edificio completo, un valor superior a 100 indica una demanda superior a la de referencia.

Una vez obtenidos los resultados, puede verse el **informe de la verificación** del cumplimiento de la normativa en pdf, que habrá que incluir en el proyecto y servirá como justificación administrativa. Este informe está protegido con unos números de control para permitir su verificación por parte de las administraciones.

Para calcular el ejemplo práctico según la **opción general** ha sido necesaria la introducción de algunas modificaciones respecto del modelo empleado en el cálculo según la opción simplificada, ya que la modelización en LIDER conlleva ciertos cambios en las superficies consideradas de los recintos (al tratar los elementos constructivos como bidimensionales, sin espesor) y permite la introducción de factores tales como los obstáculos de fachada y elementos de control solar de cada hueco o los obstáculos remotos que puedan arrojar sombra sobre el edificio.

Todos los datos del edificio (soluciones constructivas, planos en dwg, cálculo de transmisiones térmicas, etc), así como el fichero generado por el LIDER (ejemplo I_FIDAS.CTE) y su informe de resultados están disponibles para su descarga desde nuestra página WEB ⁽⁶⁾.

Notas:

- (1) Ver artículo “CTE HE Limitación de demanda energética. Contenido y aplicación” en esta misma revista.
- (2) El edificio ha sufrido ciertas modificaciones respecto al ejemplo contenido en el LIDER para una mejor explicación y definición constructiva del mismo.
- (3) Es importante tener presente que los términos usados en el DB deben interpretarse según el Apéndice de Terminología y están encaminados a la definición de la envolvente térmica, que es distinta de la envolvente edificatoria. Por ejemplo, el término cerramiento en el DB incluye fachadas, cubiertas, muros en contacto con espacios no habitables, suelos en contacto con el terreno, etc.
- (4) La limitación en los edificios de viviendas de la transmisión de calor entre las unidades de uso calefactadas y las zonas comunes no calefactadas, (art 3.2.1.1 Objeto) se refiere exclusivamente a las separaciones entre viviendas y zonas comunes, lo cual no es de aplicación en nuestro ejemplo.
- (5) El artículo 3.3.2.3 Programa informático de referencia del Documento Básico HE Ahorro de Energía, parte HE I: Limitación de demanda energética dice que “la versión oficial de este programa se denomina Limitación de la Demanda Energética, LIDER, y tiene la consideración de Documento Reconocido del CTE, estando disponible al público para su libre utilización.”
- (6) www.fidas.org > Normativa > Código Técnico.
- (7) CTE-HE Ahorro de Energía. Aplicación a edificios de Uso Residencial Vivienda - DAV. Monografías CTE del Consejo Superior de Colegios de Arquitectos de España.
- (8) Aplicación informática de la empresa **Ingeniería Ecoeficiente**, descargable desde www.ecoeficiente.es. También se puede descargar un interesante documento: “Estudio sobre puentes térmicos y el Código Técnico de la Edificación”.

FICHA 1 Cálculo de los parámetros característicos medios

ZONA CLIMÁTICA	B4	Zona de baja carga interna <input checked="" type="checkbox"/>	Zona de alta carga interna <input type="checkbox"/>
-----------------------	-----------	--	---

MUROS (U_{Mm}) y (U_{Tm})								
Tipos		A (m ²)	U (W/m ² °K)	A · U (W/°K)	Resultados			
N	en contacto con el aire	M1	17,34	0,584	10,13			
	en contacto con espacios no habitables							
	Puentes térmicos*	contorno de huecos	PF1	1,27	0,50		0,64	$\Sigma A = 21,35$
		pilares en fachada	PF2	1,30	0,50		0,65	$\Sigma A \cdot U = 11,99$
cajas de persianas	PF3	1,44	0,40	0,58	$U_{Mm} = \Sigma A \cdot U / \Sigma A = 0,56$			
E	en contacto con el aire	M1	10,63	0,584	6,21			
	en contacto con espacios no habitables							
	Puentes térmicos*	contorno de huecos					$\Sigma A = 10,63$	
		pilares en fachada					$\Sigma A \cdot U = 6,21$	
cajas de persianas					$U_{Mm} = \Sigma A \cdot U / \Sigma A = 0,58$			
O	en contacto con el aire							
	en contacto con espacios no habitables							
	Puentes térmicos*	contorno de huecos					$\Sigma A =$	
		pilares en fachada					$\Sigma A \cdot U =$	
cajas de persianas					$U_{Mm} = \Sigma A \cdot U / \Sigma A =$			
S	en contacto con el aire	M1	19,23	0,584	11,23			
	en contacto con espacios no habitables	M2	12,32	0,660	8,13			
	Puentes térmicos*	contorno de huecos	PF1	2,72	0,50		1,36	$\Sigma A = 35,92$
		pilares en fachada					$\Sigma A \cdot U = 21,38$	
cajas de persianas	PF3	1,65	0,40	0,66	$U_{Mm} = \Sigma A \cdot U / \Sigma A = 0,60$			
SE	en contacto con el aire							
	en contacto con espacios no habitables							
	Puentes térmicos*	contorno de huecos					$\Sigma A =$	
		pilares en fachada					$\Sigma A \cdot U =$	
cajas de persianas					$U_{Mm} = \Sigma A \cdot U / \Sigma A =$			
SO	en contacto con el aire							
	en contacto con espacios no habitables							
	Puentes térmicos*	contorno de huecos					$\Sigma A =$	
		pilares en fachada					$\Sigma A \cdot U =$	
cajas de persianas					$U_{Mm} = \Sigma A \cdot U / \Sigma A =$			
C-TER	Muros en contacto con el terreno	T1	12,31	0,393	4,84			
	Cubiertas enterradas							
Suelos a una profundidad mayor de 0,5 m					$\Sigma A = 12,31$			
					$\Sigma A \cdot U = 4,84$			
					$U_{Tm} = \Sigma A \cdot U / \Sigma A = 0,39$			

FICHA 1 Cálculo de los parámetros característicos medios

ZONA CLIMÁTICA	B4	Zona de baja carga interna <input checked="" type="checkbox"/>	Zona de alta carga interna <input type="checkbox"/>
-----------------------	-----------	--	---

SUELOS (U_{Sm})					
Tipos		A (m ²)	U (W/m ² °K)	A · U (W/°K)	Resultados
apoyados sobre el terreno	S1	31,21	0,620	19,350	
en contacto con espacios no habitables	S2	23,42	0,412	9,65	
en contacto con el aire exterior	S3	4,09	0,580	2,37	$\Sigma A = 58,72$ $\Sigma A \cdot U = 31,37$ $U_{Sm} = \Sigma A \cdot U / \Sigma A = 0,53$

CUBIERTAS Y LUCERNARIOS (U_{cm}, F_{Lm})					
Tipos		A (m ²)	U (W/m ² °K)	A · U (W/°K)	Resultados
en contacto con el aire exterior	C2	4,09	0,540	2,21	
en contacto con espacios no habitables	C1	51,45	0,385	19,81	
lucernarios					
puente térmico* (contorno de lucernario)					
					$\Sigma A = 55,54$ $\Sigma A \cdot U = 22,02$ $U_{cm} = \Sigma A \cdot U / \Sigma A = 0,40$

Tipos		A (m ²)	F	A · F (m ²)	Resultados
lucernarios					$\Sigma A =$ $\Sigma A \cdot F =$ $F_{Lm} = \Sigma A \cdot F / \Sigma A =$

HUECOS (U_{Hm}, F_{Hm})					
Tipos		A (m ²)	U_H (W/m ² °K)	A · U (W/°K)	Resultados
Z	H1	4,00	3,340	13,36	$\Sigma A = 5,68$ $\Sigma A \cdot U = 18,23$ $U_{Hm} = \Sigma A \cdot U / \Sigma A = 3,21$
	H2	1,68	2,898	4,87	

Tipos		A (m ²)	U_H	F	A · U_H	A · F (m ²)	Resultados
E							$\Sigma A =$ $\Sigma A \cdot U =$ $\Sigma A \cdot F =$ $U_{Hm} = \Sigma A \cdot U / \Sigma A =$ $F_{Hm} = \Sigma A \cdot F / \Sigma A =$
							$\Sigma A =$ $\Sigma A \cdot U =$ $\Sigma A \cdot F =$ $U_{Hm} = \Sigma A \cdot U / \Sigma A =$ $F_{Hm} = \Sigma A \cdot F / \Sigma A =$
							$\Sigma A =$ $\Sigma A \cdot U =$ $\Sigma A \cdot F =$ $U_{Hm} = \Sigma A \cdot U / \Sigma A =$ $F_{Hm} = \Sigma A \cdot F / \Sigma A =$
S	H1	6,00	3,538	0,511	21,23	3,07	$\Sigma A = 9,23$ $\Sigma A \cdot U = 28,66$ $\Sigma A \cdot F = 3,07$ $U_{Hm} = \Sigma A \cdot U / \Sigma A = 3,10$ $F_{Hm} = \Sigma A \cdot F / \Sigma A = 0,33$
	H3	3,23	2,300		7,43		
SE							$\Sigma A =$ $\Sigma A \cdot U =$ $\Sigma A \cdot F =$ $U_{Hm} = \Sigma A \cdot U / \Sigma A =$ $F_{Hm} = \Sigma A \cdot F / \Sigma A =$
							$\Sigma A =$ $\Sigma A \cdot U =$ $\Sigma A \cdot F =$ $U_{Hm} = \Sigma A \cdot U / \Sigma A =$ $F_{Hm} = \Sigma A \cdot F / \Sigma A =$
							$\Sigma A =$ $\Sigma A \cdot U =$ $\Sigma A \cdot F =$ $U_{Hm} = \Sigma A \cdot U / \Sigma A =$ $F_{Hm} = \Sigma A \cdot F / \Sigma A =$
SO							$\Sigma A =$ $\Sigma A \cdot U =$ $\Sigma A \cdot F =$ $U_{Hm} = \Sigma A \cdot U / \Sigma A =$ $F_{Hm} = \Sigma A \cdot F / \Sigma A =$
							$\Sigma A =$ $\Sigma A \cdot U =$ $\Sigma A \cdot F =$ $U_{Hm} = \Sigma A \cdot U / \Sigma A =$ $F_{Hm} = \Sigma A \cdot F / \Sigma A =$
							$\Sigma A =$ $\Sigma A \cdot U =$ $\Sigma A \cdot F =$ $U_{Hm} = \Sigma A \cdot U / \Sigma A =$ $F_{Hm} = \Sigma A \cdot F / \Sigma A =$

* Para sup. > 0,5 m²

FICHA 2 CONFORMIDAD - Demanda energética

ZONA CLIMÁTICA	B4	Zona de baja carga interna <input checked="" type="checkbox"/>	Zona de alta carga interna <input type="checkbox"/>
-----------------------	-----------	---	--

Cerramientos y particiones interiores de la envolvente térmica	$U_{\max(\text{proyecto})}^{(1)}$	$U_{\max}^{(2)}$
Muros de fachada	0,58	
Primer metro del perímetro de suelos apoyados y muros en contacto con el terreno	0,57	≤ 1,07
Particiones interiores en contacto con espacios no habitables	0,66	
Suelos	0,58	≤ 0,68
Cubiertas	0,54	≤ 0,59
Vidrios de huecos y lucernarios ($U_{H,v}$)	3,30	≤ 5,70
Marcos de huecos y lucernarios ($U_{H,m}$)	4,00	≤ 5,70
Medianerías	0,58	≤ 1,07
Particiones interiores (edificios de viviendas) ⁽³⁾		≤ 1,20 W/m ² K

MUROS DE FACHADA		
	$U_{Mm}^{(4)}$	$U_{Mlim}^{(5)}$
N	0,56	≤ 0,82
E	0,58	
O		
S	0,60	
SE		
SO		

HUECOS					
	$U_{Hm}^{(4)}$	$U_{Hlim}^{(5)}$		$F_{Hm}^{(4)}$	$F_{Hlim}^{(5)}$
	3,21	≤ 3,30			
		≤ -			
	3,10	≤ 5,70		0,33	≤ -
		≤ -			≤ -

CERR. CONTACTO TERRENO		
	$U_{Tm}^{(4)}$	$U_{Mlim}^{(5)}$
	0,39	≤ 0,82

SUELOS		
	$U_{Sm}^{(4)}$	$U_{Slim}^{(5)}$
	0,51	≤ 0,53

CUBIERTAS		
	$U_{Cm}^{(4)}$	$U_{Clim}^{(5)}$
	0,40	≤ 0,45

LUCERNARIOS		
	$F_{Lm}^{(4)}$	$F_{Llim}^{(5)}$
		≤ -

- (1) $U_{\max(\text{proyecto})}$ corresponde al mayor valor de la transmitancia de los cerramientos o particiones interiores indicados en proyecto.
- (2) U_{\max} corresponde a la transmitancia térmica máxima definida en la tabla 2.1 para cada tipo de cerramiento o partición interior.
- (3) En edificios de viviendas, $U_{\max(\text{proyecto})}$ de particiones interiores que limiten unidades de uso con un sistema de calefacción previsto desde proyecto con las zonas comunes no calefactadas.
- (4) Parámetros característicos medios obtenidos en la ficha 1.
- (5) Valores límite de los parámetros característicos medios definidos en la tabla 2.2.

FICHA 3 CONFORMIDAD-Condensaciones

CERRAMIENTOS, PARTICIONES INTERIORES, PUENTES TÉRMICOS												
Tipos	C. superficiales			C. intersticiales								
	$f_{Rsi} \geq f_{Rsi,min}$	$0,854$	$P_{sat,n} \leq P_n$	Capa 1	Capa 2	Capa 3	Capa 4	Capa 5	Capa 6	Capa 7	Capa 8	Capa 9
M1	f_{Rsi}	0,854	$P_{sat,n}$	1304	1311	1390	1400	2020	2138	2220	2239	2337
	$f_{Rsi,min}$	0,520	P_n	1016	1026	1106	1119	1243	1245	1279	1285	1285
M2	f_{Rsi}		$P_{sat,n}$									
	$f_{Rsi,min}$	0,520	P_n									
C1	f_{Rsi}		$P_{sat,n}$									
	$f_{Rsi,min}$	0,520	P_n									
C2	f_{Rsi}		$P_{sat,n}$									
	$f_{Rsi,min}$	0,520	P_n									
C3	f_{Rsi}		$P_{sat,n}$									
	$f_{Rsi,min}$	0,520	P_n									
S2	f_{Rsi}		$P_{sat,n}$									
	$f_{Rsi,min}$	0,520	P_n									
S3	f_{Rsi}		$P_{sat,n}$									
	$f_{Rsi,min}$	0,520	P_n									
P _{F1}	f_{Rsi}	0,875	$P_{sat,n}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	$f_{Rsi,min}$	0,520	P_n	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P _{F2}	f_{Rsi}	0,875	$P_{sat,n}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	$f_{Rsi,min}$	0,520	P_n	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P _{F3}	f_{Rsi}	0,900	$P_{sat,n}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	$f_{Rsi,min}$	0,520	P_n	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	f_{Rsi}		$P_{sat,n}$									
	$f_{Rsi,min}$		P_n									
	f_{Rsi}		$P_{sat,n}$									
	$f_{Rsi,min}$		P_n									
	f_{Rsi}		$P_{sat,n}$									
	$f_{Rsi,min}$		P_n									
	f_{Rsi}		$P_{sat,n}$									
	$f_{Rsi,min}$		P_n									
	f_{Rsi}		$P_{sat,n}$									
	$f_{Rsi,min}$		P_n									
	f_{Rsi}		$P_{sat,n}$									
	$f_{Rsi,min}$		P_n									
	f_{Rsi}		$P_{sat,n}$									
	$f_{Rsi,min}$		P_n									
	f_{Rsi}		$P_{sat,n}$									
	$f_{Rsi,min}$		P_n									
	f_{Rsi}		$P_{sat,n}$									
	$f_{Rsi,min}$		P_n									