



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

Cálculo de la transmitancia térmica de un muro de fachada

Apellidos, nombre	Pastor Villa, Rosa María (ropasvil@csa.upv.es)
Departamento	Construcciones Arquitectónicas
Centro	Universitat Politècnica de València

1 Resumen de las ideas clave

En este artículo vamos a realizar el cálculo de la transmitancia de la parte opaca de un cerramiento en contacto con el exterior (fachada), basándonos en el Documento Básico HE-1 LIMITACIÓN DE LA DEMANDA ENERGÉTICA¹, del Código Técnico de la Edificación (CTE)².

Palabras clave: Transmitancia, Cerramiento, Ahorro energético, Código Técnico.

2 Introducción

Al abordar el proyecto de un edificio hay que tener muy en cuenta la envolvente y los factores que influyen en su diseño para alcanzar el bienestar térmico en el interior del mismo (en base a la limitación de la demanda energética³ establecida por la normativa); estos factores son: localidad, estación climática, uso del edificio, características constructivas del muro, inercia térmica, permeabilidad al aire y radiación solar.

Para determinar las pérdidas de calor de un edificio a través de los elementos que componen la envolvente, surge el concepto de transmitancia térmica U que es una característica específica de cada elemento constructivo.

Los parámetros característicos que definen la envolvente térmica, serán inferiores a unos valores establecidos de transmitancia térmica U para los cerramientos de la envolvente y un factor solar modificado F para huecos y lucernarios. En el presente artículo nos vamos a centrar en el cálculo de la transmitancia de la parte opaca de una fachada de un edificio.

El objetivo del requisito básico ahorro de energía, y las exigencias de la limitación de la demanda energética en un edificio se establecen en el artículo 15 de la Parte I del CTE, expuesto a continuación:

¹ Consultar el documento en la siguiente URL <http://www.upv.es/miw/infoweb/vece/info/GC.PDF>

² Consultar el documento en la siguiente URL <https://www.codigotecnico.org/>

³ Según CTE HE, la demanda energética de un edificio es la energía útil necesaria que tendrían que proporcionar los sistemas técnicos del mismo para mantener su interior en unas condiciones confortables. Se puede dividir en demanda energética de calefacción, de refrigeración, de producción de agua caliente sanitaria (ACS) y de iluminación, y se suele expresar en kW-h/m²-año (considerada la superficie útil de los espacios habitables del edificio).



Artículo 15. Exigencias básicas de ahorro de energía (HE)

1. El objetivo del requisito básico "Ahorro de energía" consiste en conseguir un uso racional de la energía necesaria para la utilización de los *edificios*, reduciendo a límites sostenibles su consumo y conseguir asimismo que una parte de este consumo proceda de fuentes de energía renovable, como consecuencia de las características de su *proyecto, construcción, uso y mantenimiento*.
2. Para satisfacer este objetivo, los *edificios* se proyectarán, construirán, utilizarán y mantendrán de forma que se cumplan las exigencias básicas que se establecen en los apartados siguientes.
3. El Documento Básico "DB HE Ahorro de energía" especifica parámetros objetivos y procedimientos cuyo cumplimiento asegura la satisfacción de las exigencias básicas y la superación de los niveles mínimos de calidad propios del requisito básico de ahorro de energía.

15.1 Exigencia básica HE 1: Limitación de 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.

3 Objetivos

Una vez que el alumno lea con detenimiento este artículo, será capaz de:

- Identificar los conceptos de envolvente del edificio y transmitancia de un muro de fachada.
- Interpretar la Normativa adecuada para el cálculo la transmitancia de un muro de fachada.
- Realizar adecuadamente el cálculo de la transmitancia de un muro de fachada aplicando el Documento Básico Básico HE-1 LIMITACIÓN DE LA DEMANDA ENERGÉTICA, del Código Técnico de la Edificación.

4 Desarrollo

Los contenidos que vamos a mostrar van a seros útiles a la hora de diseñar constructivamente un cerramiento, atendiendo a las limitaciones de la demanda energética establecidas por el CTE.

Para abordar el estudio se requieren conocimientos previos de materiales constructivos y diseño de cerramientos.

Se desarrolla el artículo en tres puntos, que coinciden con cada una de las fases más relevantes del proceso de cálculo, mediante un ejemplo de aplicación:

- 4.1 Diseño del muro de fachada
- 4.2 Determinación de la zona climática
- 4.3 Cálculo de la transmitancia de los elementos de la envolvente

4.1 Definición de envolvente térmica del edificio

La **envolvente térmica** es la piel del edificio, está formada por todos los elementos que separan los espacios habitables del ambiente exterior (aire exterior, terrenos y otros edificios) y de los espacios no habitables ⁴ (Figura 1)

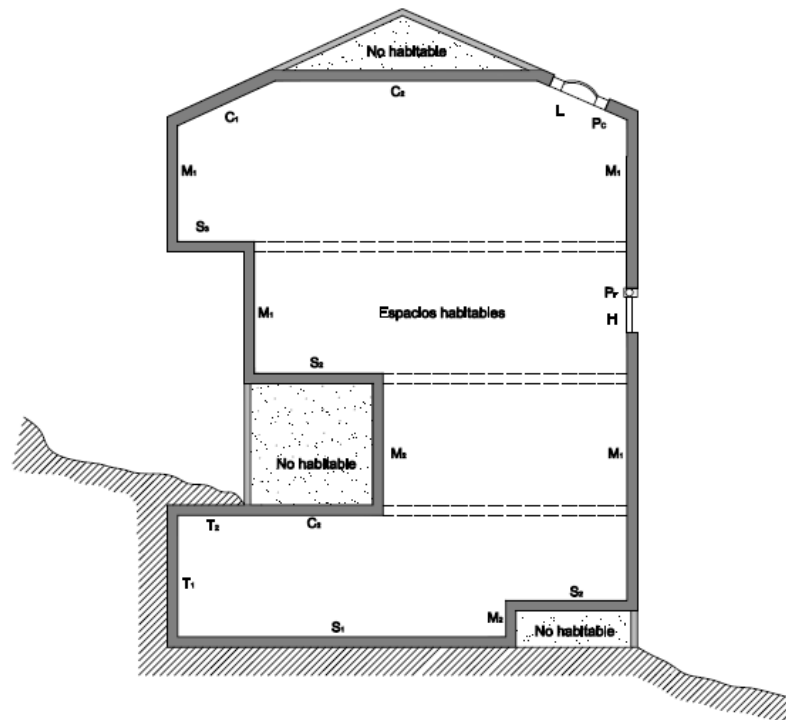


Figura 1. Esquema de envolvente térmica de un edificio (Figura 3.2 CTE)

La envolvente se compone de todos los cerramientos opacos -verticales y horizontales-, huecos y puentes térmicos del edificio ⁵.

En el presente artículo nos vamos a centrar en el cálculo de la transmitancia en un muro de fachada. El cerramiento que vamos a utilizar de ejemplo es el de la figura 2, le denominamos M1, está compuesto de varias capas de distintos materiales y espesores cuya relación figura a continuación:

⁴ Consultar Documento Básico HE, apartado Terminología, en la siguiente URL <https://www.codigotecnico.org/images/stories/pdf/ahorroEnergia/DBHE.pdf>

⁵ El Código Técnico de la Edificación, en su Documento Básico HE, sección HE1, define puente térmico como aquella zona de la envolvente térmica del edificio en la que se evidencia una variación de la uniformidad de la construcción, ya sea por un cambio del espesor del cerramiento o de los materiales empleados, por la penetración completa o parcial de elementos constructivos con diferente conductividad, por la diferencia entre el área externa e interna del elemento, etc., que conllevan una minoración de la resistencia térmica respecto al resto del cerramiento.

Composición constructiva del cerramiento M1:

Enfoscado de mortero de cemento (1.5 cm), ½ pie de ladrillo perforado, Embarrado (2 cm), Poliuretano proyectado (3 cm), Cámara de aire (2 cm), Tabique de ladrillo hueco (5 cm), Enlucido de yeso (1.5 cm).

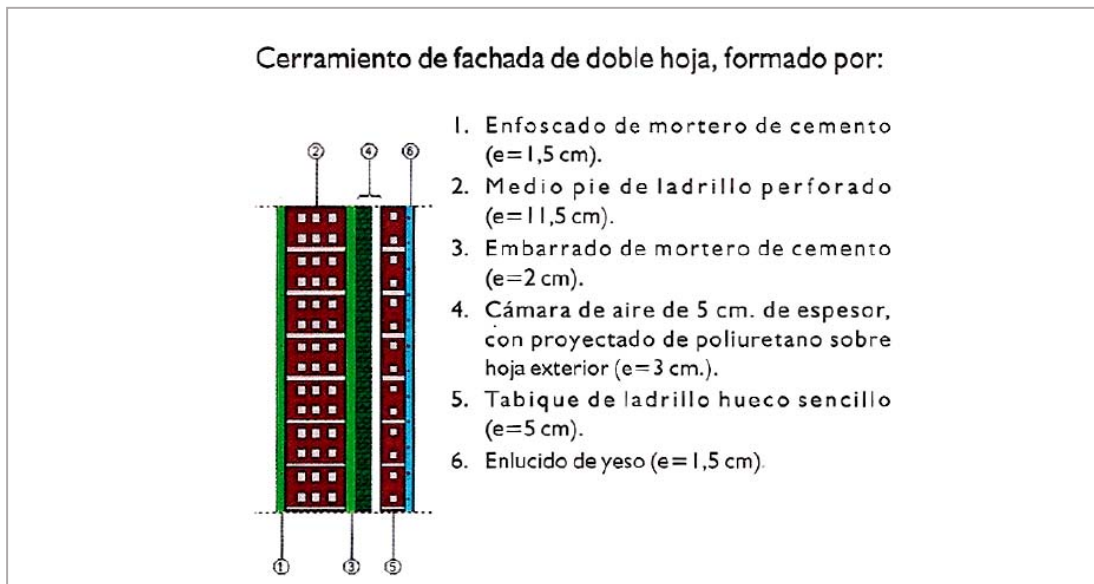


Figura 2. Esquema de cerramiento de un edificio (Curso Exigencia Básica HE-1 Consejo Superior de los Colegios de Arquitectos de España, CSCAE)

4.2 Zona climática en la que se ubica el edificio

Zona climática es aquella para la que se definen unas solicitaciones exteriores comunes a efectos de cálculo de la demanda energética de un edificio. Se identifica mediante una letra, correspondiente a la severidad climática de invierno y un número correspondiente a la severidad climática de verano.

Severidad climática en invierno.....letras A a E
Severidad climática en verano.....números 1 a 4

Para determinar la zona climática utilizamos la tabla D1 del Apéndice D Zonas climáticas Documento Básico HE Ahorro de Energía

Tabla D.1.- Zonas climáticas

Provincia	Capital	Altura de referencia (m)	Distancia entre la localidad y la capital de su provincia (m)				
			≥200 <400	≥400 <600	≥600 <800	≥800 <1000	≥1000
Alicante	D3	577	D2	E1	E1	E1	E1
Alicante	B4	7	C3	C1	D1	D1	E1
Almería	A4	0	B3	B3	C1	C1	D1
Ávila	E1	1054	E1	E1	E1	E1	E1
Badajoz	C4	168	C3	D1	D1	E1	E1
Barraxa	C2	1	C1	D1	D1	E1	E1
Bilbao	C1	214	D1	D1	E1	E1	E1
Burgos	E1	861	E1	E1	E1	E1	E1
Cáceres	C4	385	D3	D1	E1	E1	E1
Cádiz	A3	0	B3	B3	C1	C1	D1
Castellón de la Plana	B3	18	C2	C1	D1	D1	E1
Ceuta	B3	0	B3	C1	C1	D1	D1
Ciudad real	D3	630	D2	E1	E1	E1	E1
Córdoba	B4	113	C3	C2	D1	D1	E1
Coruña (a)	C1	0	C1	D1	D1	E1	E1
Cuenca	D2	875	E1	E1	E1	E1	E1
Donostia-San Sebastián	C1	5	D1	D1	E1	E1	E1
Girona	C2	143	D1	D1	E1	E1	E1
Granada	C3	754	D2	D1	E1	E1	E1
Guadalajara	D3	708	D1	E1	E1	E1	E1
Huelva	B4	50	B3	C1	C1	D1	D1
Huesca	D2	432	E1	E1	E1	E1	E1
Jáen	C4	436	C3	D2	D1	E1	E1
León	E1	346	E1	E1	E1	E1	E1
Lleida	D3	131	D2	E1	E1	E1	E1
Logroño	D2	379	D1	E1	E1	E1	E1
Lugo	D1	412	E1	E1	E1	E1	E1
Madrid	D3	589	D1	E1	E1	E1	E1
Málaga	A3	0	B3	C1	C1	D1	D1
Mérida	A3	130	B3	B3	C1	C1	D1
Murcia	B3	25	C2	C1	D1	D1	E1
Ourense	C2	327	D1	E1	E1	E1	E1
Oviedo	C1	214	D1	D1	E1	E1	E1
Palencia	D1	722	E1	E1	E1	E1	E1
Palma de Mallorca	B3	1	B3	C1	C1	D1	D1
Palmas de gran canaria (las)	A3	114	A3	A3	A3	B3	B3
Pamplona	D1	458	E1	E1	E1	E1	E1
Porriñeira	C1	77	C1	D1	D1	E1	E1
Salamanca	D2	770	E1	E1	E1	E1	E1
Santa cruz de Tenerife	A3	0	A3	A3	A3	B3	B3
Santander	C1	1	C1	D1	D1	E1	E1
Segovia	D2	1013	E1	E1	E1	E1	E1
Sevilla	B4	9	B3	C2	C1	D1	E1
Soria	E1	884	E1	E1	E1	E1	E1
Tarazona	B3	1	C2	C1	D1	D1	E1
Teruel	D2	895	E1	E1	E1	E1	E1
Toledo	C4	445	D3	D2	E1	E1	E1
Valencia	B3	8	C2	C1	D1	D1	E1
Valladolid	D2	704	E1	E1	E1	E1	E1
Vitoria-Gasteiz	D1	512	E1	E1	E1	E1	E1
Zamora	D2	617	E1	E1	E1	E1	E1
Zaragoza	D3	207	D2	E1	E1	E1	E1

Figura 3. Tabla D1 del Apéndice D Zonas climáticas Documento Básico HE Ahorro de Energía

Para seguir con nuestro ejemplo práctico vamos a suponer que el cerramiento pertenece a un edificio situado en Sevilla capital. Según la tabla D1 de la figura 3, la zona climática correspondiente es la B4.

4.3 Cálculo de la Transmitancia Térmica

La TRANSMITANCIA TÉRMICA (U) representa la cantidad de calor que atraviesa un cerramiento por tiempo, por superficie y por diferencia de temperatura. Su unidad de medida es W/m² °K (Watt por metro cuadrado por Kelvin).

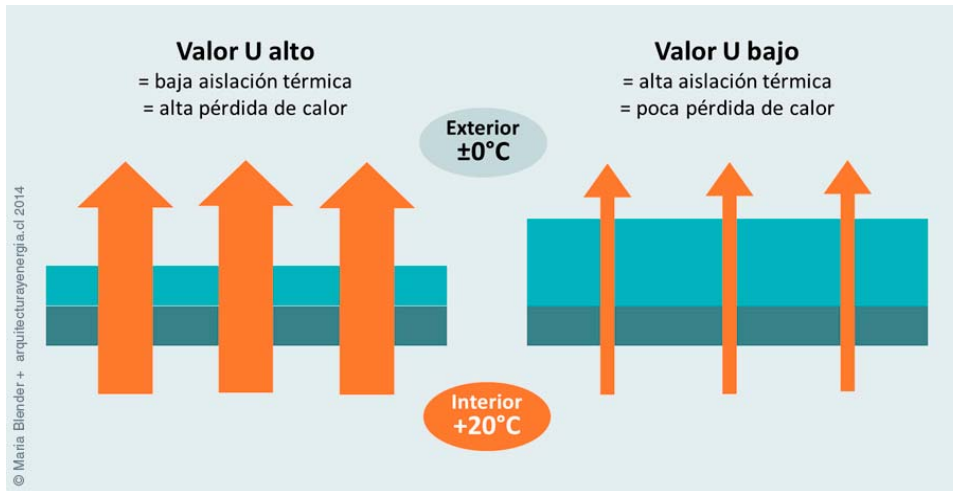


Figura 4. Significado de la transmitancia @María Blender+arquitectura y energía.cl 2014

El cálculo que vamos a realizar es aplicable a la parte opaca de todos los cerramientos en contacto con el exterior como muros de fachada, cubiertas y suelos en contacto con el aire exterior.

La fórmula para el **cálculo de la transmitancia** es la siguiente:

$$U = \frac{1}{R_T} \quad (\text{W/m}^2\text{K})$$

donde R_T ($\text{m}^2\text{K/W}$) es la resistencia térmica total del elemento constructivo

Ecuación 1. Expresión de la transmitancia

La resistencia térmica total **RT** de un componente constituido por capas técnicamente homogéneas debe calcularse mediante la expresión:

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

siendo,

R_1, R_2, \dots, R_n las resistencias térmicas de cada capa

R_{si} y R_{se} las resistencias térmicas superficiales correspondientes al aire interior y exterior respectivamente, tomadas de la tabla 1 de acuerdo a la posición del cerramiento, dirección del flujo de calor y su situación en el edificio [$\text{m}^2\text{K/W}$].

Ecuación 2. Expresión de la Resistencia térmica total

$$R = \frac{e}{\lambda} \quad (3)$$

siendo,

- e el espesor de la capa [m]. En caso de una capa de espesor variable se considera el espesor medio;
- λ la conductividad térmica de diseño del material que compone la capa, que se puede calcular a partir de los valores térmicos declarados según la norma UNE-EN 10456:2012.

Ecuación 3. Expresión de la Resistencia térmica

R_{si} y R_{se} se obtienen de la tabla 1 del documento de apoyo al DB HE

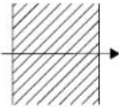
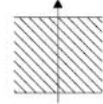
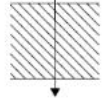
Tabla 1 Resistencias térmicas superficiales de cerramientos en contacto con el aire exterior en m ² ·K/ W			
Posición del cerramiento y sentido del flujo de calor		R _{se}	R _{si}
Cerramientos verticales o con pendiente sobre la horizontal >60° y flujo Horizontal		0,04	0,13
Cerramientos horizontales o con pendiente sobre la horizontal ≤60° y flujo ascendente (Techo)		0,04	0,10
Cerramientos horizontales y flujo descendente (Suelo)		0,04	0,17

Figura 5. Tabla 1 Documento Básico HE Ahorro de Energía

En función de la zona climática determinaremos en el apéndice D, apartado D.2.8 ZONA CLIMÁTICA B4 la transmitancia térmica límite del elemento construido.

D.2.8 ZONA CLIMÁTICA B4	
Transmitancia límite de muros de fachada y cerramientos en contacto con el terreno	U _{Mim} : 0,82 W/m ² K
Transmitancia límite de suelos	U _{Sim} : 0,52 W/m ² K
Transmitancia límite de cubiertas	U _{Clim} : 0,45 W/m ² K
Factor solar modificado límite de lucernarios	F _{Lim} : 0,28

Figura 6. Apéndice D, Apartado D.2.8 Documento Básico HE Ahorro de Energía

En nuestro ejemplo zona U= 0.82 W/m² ·K

Para obtener la **conductividad o resistencia térmica** de los elementos constructivos, consultaremos en los siguientes documentos y enlaces:

- Anejo HE 1 V1: Valores de cálculo de los materiales de construcción
- Catálogo de elementos constructivos del Código Técnico. Se puede consultar en:
http://nol.infocentre.es/ictnol/pdf/Catalogo%20Elementos%20Constructivos%20v05.0_MAYO08.pdf
- Catálogo de elementos constructivos del Instituto Valenciano de la Edificación (IVE). Se puede consultar en: <http://cte-web.iccl.es>

Como ejemplo, vamos a buscar el material "enlucido de yeso" en el catálogo de elementos constructivos del Código Técnico de la Edificación. Se encuentra en el apartado 3.7 Enlucidos:

Enlucidos				
Material	HE			
	ρ kg / m ³	λ W / m·K	c_p J / kg·K	μ
Enlucido de yeso	$1000 \leq \rho \leq 1300$	0,57	1000	6
	$\rho \leq 1000$	0,40	1000	6
Enlucido de yeso aislante ⁽¹⁾	$600 \leq \rho \leq 900$	0,30	1000	6
	$500 \leq \rho \leq 600$	0,18	1000	6

⁽¹⁾ Yeso aligerado con perlita o vermiculita

Figura 7. Catálogo elementos constructivos Código Técnico de la Edificación. Apartado 3.7

La resistencia térmica de las cámaras de aire sin ventilar viene definida en la tabla 2 (Documento de apoyo al DB HE) en función del espesor.

Tabla 2 Resistencias térmicas de cámaras de aire en m ² ·K/ W		
e (cm)	Sin ventilar	
	horizontal	vertical
1	0,15	0,15
2	0,16	0,17
5	0,16	0,18

Figura 8. Apéndice D, Documento Básico HE Ahorro de Energía

Aplicamos a nuestro ejemplo (ver figura 2) y calculamos la resistencia total del muro y la transmitancia con las fórmulas vistas anteriormente.

MATERIAL	λ (w/mk)	e (cm)	R (m ² K/W)
Capa aire exterior			0.040
Enfoscado mortero de cemento	1.00	1.5	0.015
Ladrillo Hueco ½ pie	0.694	11.5	0.166
Embarado de m. de cemento	1.00	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	1.5	0.026
Capa de aire interior			0.130
RESISTENCIA TOTAL			1.711
TRANSMITANCIA TÉRMICA MURO M1 (U en W/m²K)			0.584

Tabla 1. Cálculo de la transmitancia del muro M1. Elaboración propia

4.4 Comprobación de los cálculos

		U (W/m ² ·K)	
		Proyecto	Máxima
Cerramiento de la envolvente térmica			
Muro opaco de fachada	M1	0.584	0.820

Tabla 2. Comprobación de los resultados. Elaboración propia

Según observamos en la tabla 2, la transmitancia calculada del muro M1 es menor que la permitida por Normativa, luego hemos cumplido nuestros objetivos.

5 Cierre

A lo largo de este objeto de aprendizaje hemos calculado la transmitancia de un muro de fachada, mediante un ejemplo práctico.

Para comprobar que realmente has aprendido, es el momento de que te pongas manos a la obra e intentes diseñar un cerramiento opaco de un edificio residencial situado en Valencia, calcules su transmitancia y compruebes que cumple con la normativa estudiada. Sigue los pasos establecidos en este artículo

1. Diseña el cerramiento (croquis del muro donde indiques los materiales utilizados y sus espesores)(ver figura 2)
2. Calcula la zona climática teniendo en cuenta que el edificio está situado en Valencia (ver figura 3)
3. Comprueba la transmitancia térmica límite muro (ver figura 6)
4. Calcula la resistencia total del muro RT y la Transmitancia U (ver tabla 1)
5. Comprueba los resultados (ver tabla 2)

Ya verás que enriquecedor te resulta.

¡¡ÁNIMO!!

6 Bibliografía

6.1 Catálogos

(1) Instituto Valenciano de la Edificación. 2010. Catálogo de elementos constructivos. Generalitat Valenciana. ISBN 978-84-482-5735-4

6.2 Normativa

[2] Instituto Eduardo Torroja de Ciencias de la Construcción. Catálogo de elementos constructivos del Código Técnico.

(3) Ministerio de Fomento. Código Técnico de la Edificación.

(4) Ministerio de Fomento. CTE DB-HE. Ahorro de energía. Código Técnico de la Edificación.

[5] Ministerio de Fomento. DA DB-HE/1. Ahorro de Energía. Código Técnico de la Edificación.

6.3 Referencias de fuentes electrónicas

[6] *Consejo Superior de los Colegios de Arquitectos de España (CSCAE)*. EXIGENCIA BÁSICA HE-1. Limitación de la demanda energética. Disponible en:
http://www.coavn.org/coavn/cte/cursoravarrar/01_db_he1_accion_iv.pdf

[7] Blender, María. (2015). El valor U. La transmitancia térmica en edificación.

Disponible en: <http://www.arquitecturayenergia.cl/home/el-valor-u-la-transmitancia-termica-en-edificacion/#prettyPhoto/0/>