

05-007

COMPARISON OF STANDARDS OF CERTIFICATION FOR BUILDINGS ALMOST ZERO CONSUMPTION. THERMAL INSULATION REQUIREMENTS

Garzón-Juan, Mario ⁽¹⁾; Nieto-Morote, Ana M^a ⁽¹⁾; Ruz-Vila, Francisco de Asís ⁽¹⁾

⁽¹⁾ Universidad Politécnica de Cartagena

'Almost zero energy consumption building' means a building with a very high level of energy efficiency, self-supplied by renewable energy. The design strategy of this type of buildings is to limit the energy consumption in heating and cooling and achieve thermal comfort, through a catalog of passive systems with criteria of economic profitability. Several building standards have been developed such as Minergie, Passive house or ASHRAE that make it possible to certify that a building is almost zero energy consumption when the energy demand, air tightness and the internal surface temperature of the envelopes are within characteristic values. Considering that a key factor, in order to achieve a building almost zero consumption, is to provide it with a wraparound with a high thermal insulation, these standards define the thermal transmittance values of the envelope necessary according to the climatic conditions of the Environment. The objective of this article is to carry out a comparative analysis of the thermal insulation requirements of the different standards mentioned against the requirements established by the CTE, as well as to assess economically the impact on the costs of construction to get almost zero-consumption buildings in Spain.

Keywords: NZEB; efficiency certifications; thermal transmittance

COMPARATIVA DE ESTÁNDARES DE CERTIFICACIÓN DE EDIFICIOS CONSUMO CASI NULO. REQUERIMIENTOS DE AISLAMIENTO TÉRMICO

Se entiende por «edificio de consumo de energía casi nulo» un edificio con un nivel de eficiencia energética muy alto, autoabastecido mediante energías renovables. La estrategia de diseño de este tipo de edificios es limitar el consumo de energía en calefacción y refrigeración y conseguir confort térmico, mediante un catálogo de sistemas pasivos con criterios de rentabilidad económica. Se han desarrollado varios estándares constructivos, como Minergie, Passive house, o ASHRAE, que permiten certificar que un edificio es de consumo de energía casi nulo cuando la demanda energética, la estanqueidad de aire y la temperatura superficial interior de la envolvente se encuentran dentro de unos valores característicos. Considerando que un factor clave, para lograr un edificio consumo casi nulo, es dotarlo de una envolvente con un alto aislamiento térmico, estos estándares definen los valores de transmitancia térmica de la envolvente necesarios según condiciones climatológicas del entorno. El objetivo del presente artículo es realizar un análisis comparativo de los requerimientos de aislamiento térmico de los diferentes estándares mencionados frente a los requerimientos que establece el CTE, así como valorar económicamente el impacto sobre los costes de construcción de conseguir edificios de consumo casi cero en España.

Palabras clave: edificios eficientes; certificaciones de eficiencia; transmitancia térmica

Correspondencia: Ana M^a Nieto Morote ana.nieto@upct.es



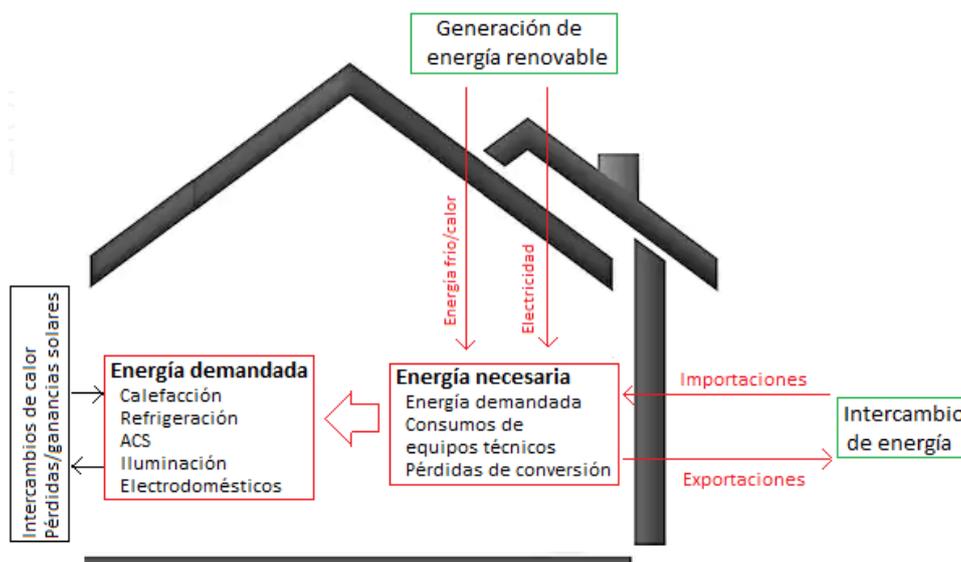
©2020 by the authors. Licensee AEIPRO, Spain. This article is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

1. Concepto de edificios consumo casi nulo

Si bien, no existe una única definición de edificios consumo casi nulo (NZEB), todas ellas tienen, en común, como objetivo: reducir o neutralizar el impacto ambiental de los edificios (Attia, 2018). Para lograr este objetivo, el diseño de edificios NZEB debe estar basado en cuatro principios como se muestra en la Figura 1:

1. Reducir la demanda de energía. Se entiende por demanda energética total de un edificio la suma de los consumos en calefacción, refrigeración, ACS, iluminación y electrodomésticos.
2. Mejorar la calidad ambiental interior. Se debe lograr el máximo confort térmico evitando sobrecalentamientos, así como, un adecuado control de la calidad del aire mediante sistemas de ventilación.
3. Integrar energías renovables. Se deben integrar en el diseño del edificio sistemas de generación mediante energías renovables con objeto de cubrir el consumo del edificio, intentando lograr de este modo un balance cero de emisiones.
4. Reducir el consumo de energía primaria y las emisiones de CO₂.

Figura 1. Descripción de los principios de un edificio NZEB

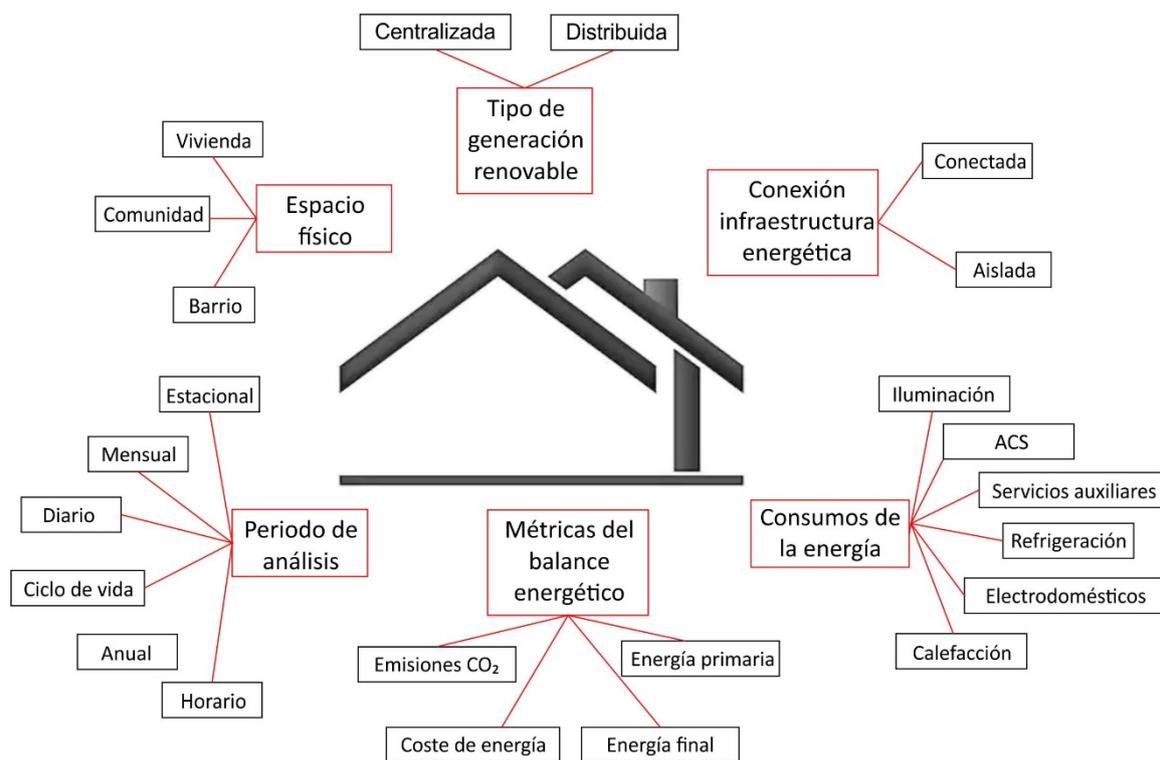


En los últimos años, numerosos autores han centrado sus trabajos en la necesidad de identificar adecuadamente que aspectos definen qué se entiende por NZEB (Deng, 2014) (D`Agostino, 2015) (Kurnitski, 2011). Entre ellos destacan los siguientes, representados en la Figura 2:

- Espacio físico. El contexto de un sistema consumo casi nulo puede incluir un solo edificio o un grupo de edificios. En este último caso, no sería necesario que cada edificio tuviera un balance energético casi nulo, sino que el balance energético global del conjunto de edificios es el que debería satisfacer este balance.
- Período de análisis. El período de cálculo durante el cual se analiza el balance energético podría ser horario, diario, mensual, estacional, anual e incluso durante el ciclo de vida completo de un edificio o su tiempo de operación.

- Conexión a la infraestructura energética. Un edificio consumo casi cero podría estar conectado, o no, a la red. En el primer caso, los edificios podrían importar y exportar energía de estas redes y, así, evitar la necesidad de almacenamiento de electricidad, algo que sería necesario en sistemas desconectados de la red
- Métrica del balance energético. Se pueden utilizar diferentes unidades de medida para catalogar un edificio como NZEB. La unidad que se mide en la mayoría de metodologías para calcular el balance energético del edificio es la energía primaria. Sin embargo, existen otras métricas como energía consumida, emisiones equivalentes de CO₂ o coste de la energía.
- Consumos de energía. Los ítems para calcular la energía consumida por el edificio pueden incluir solo la energía operativa, es decir, energía consumida en calefacción, refrigeración, iluminación, ventilación, agua caliente, o bien, también otros consumos, como por ejemplo la energía consumida por pequeños y grandes electrodomésticos y servicios auxiliares
- Tipo de generación renovable. La opción para el suministro renovable puede ser en la modalidad distribuida como centralizada dependiendo de la disponibilidad de recursos renovables en el emplazamiento del edificio.

Figura 2. Principales factores sobre la definición de NZEB



Para lograr una reducción de los consumos operacionales de un edificio, que suponen el 80% de la energía total del ciclo de vida del edificio (Stephan, 2012), es necesario que durante la fase de diseño del edificio se adopten estrategias de diseño de arquitectura bioclimática entre las que destacan: la adecuada orientación del edificio, el factor de forma, las características de la envolvente, el aprovechamiento de la luz natural en todos los espacios,... De entre todas estas medidas, el aislamiento de la envolvente debe ser una de las primeras medidas que se adopten para reducir la demanda energética del edificio.

2. Regulaciones y políticas de desarrollo de NZEB

Las medidas que tanto gobiernos como entidades privadas han desarrollado con objeto de impulsar la construcción de edificios NZEB, se pueden clasificar en dos grupos: aquellas orientadas al desarrollo de códigos obligatorios de edificación y aquellas otras basadas en programas voluntarios de certificación.

2.1. Códigos obligatorios de edificación

En el campo de la edificación, la UE está desarrollando un marco normativo enfocado a reducir el consumo energético para conseguir un importante ahorro energético en edificios. Según la Directiva 2010/31/UE, relativa a la eficiencia energética de los edificios (EPBD), *“se considera que un edificio es de consumo casi nulo cuando presenta un nivel de eficiencia energética muy alto y la cantidad casi nula o muy baja de energía requerida debería estar cubierta, en muy amplia medida, por energía procedente de fuentes renovables”*. Los Estados miembros de la UE deben dar definiciones cuantitativas al "rendimiento energético muy elevado" y "una medida muy significativa por la energía procedente de fuentes renovables". En la Tabla 1, se muestran los valores que de energía primaria y de cuota de participación en ese consumo de energías renovables han legislado los diferentes Estados de la UE.

Tabla 1. Tabla resumen de legislaciones europeas (Comisión europea, 2019; Attia, 2017)

Estado	Consumo máximo energía primaria (KW/m ² año)		Cuota EERR	Estado	Consumo máximo energía primaria (KW/m ² año)		Cuota EERR
	Residen.	No Residen.			Residen.	No Residen.	
Austria	125	125	-	Hungría	105	90	25%
Bélgica	30-70	45-100	40%	Irlanda	15-30	40-55	-
Bulgaria	40	40	40%	Italia	45	60	50%
Croacia	55	90	-	Letonia	95	95	-
Chipre	100	125	30%	Lituania	60	80	-
Rep. Checa	50	75	-	Luxemburgo	45	60	-
Dinamarca	20	25	-	Malta	55	175	-
Estonia	65	110	-	Holanda	25	40	-
Finlandia	90	100	-	Polonia	75	125	40%
Francia	80	110	50%	Portugal	35	130	50%
Alemania	40	75	40%	Rumania	120	90	40%
Grecia	80	85	25%	Eslovaquia	45	65	50%
Hungría	105	90	25%	Eslovenia	80	55	25%
Irlanda	15-30	40-55	-	España	50	100	60%
Italia	45	60	50%	Suecia	85	100	-
Letonia	95	95	-	UK	45	150	-
Lituania	60	80	-				

La Directiva 2012/27/UE, relativa a la eficiencia energética, establece que se deben renovar los edificios públicos de las Administraciones centrales de los diferentes Estados miembros de la UE con objeto de satisfacer los requisitos de rendimiento energético mínimos fijados por la Directiva 2010/31/UE. Se establece como objetivo una renovación anual del 3% de la superficie total que ocupa el parque inmobiliario público considerando, únicamente, los edificios que dispongan de sistemas de calefacción y/o refrigeración.

La Directiva 2018/844/UE, por la que se modifica la Directiva 2010/31/UE establece que cada Estado miembro deberá legislar para que, antes del 2050, se transformen edificios residenciales y no residenciales, tanto públicos como privados, en edificios de consumo de energía casi nulo. Se insta a establecer las medidas necesarias para que estas transformaciones sean económicamente rentables.

En EEUU, ASHRAE ha desarrollado el estándar 198.1. 2017 Norma para el diseño de Edificios Verdes de Alto Rendimiento que establece los criterios de diseño mínimos aceptables para edificios alto rendimiento, de modo las administraciones públicas tengan una referencia a la hora de elaborar sus propias legislaciones (ASHRAE, 2017). Esta norma establece criterios obligatorios en todas las áreas: características constructivas, uso eficiente del agua, eficiencia energética, calidad ambiental interior y el impacto de la construcción sobre la atmósfera, materiales y recursos. Además, requiere que el diseño del edificio prevea la instalación de sistemas de energía renovable con una producción de energía anual equivalente de 20 kWh/m² para edificios de una sola planta y no menos de 32 kWh/m² para el resto de edificios.

2.2. Programas voluntarios de certificación

Son numerosos los programas voluntarios de certificación publicados en diversos países con objeto de mejorar la huella energética de los edificios, entre ellos destacan PASSIVE HOUSE (Alemania), MINERGIE (Suiza) o BBC-EFFINERGIE (Francia).

2.2.1. PASSIVE HOUSE (PHI, 2016)

Desde Passive House Institute, se definen una serie de estándares que deben cumplir los edificios para obtener la certificación PASSIVE-HOUSE. Dichos estándares son: la demanda de calefacción y refrigeración debe ser igual o inferior a 15 kWh/m²a para clima cálido, 20 kWh/m²a para clima cálido-templado, 25 kWh/m²a para clima frío templado, 30 kWh/m²a para clima frío, y 35 kWh/m²a para clima polar; el consumo de energía primaria no debe ser superior a 120 kWh/m²a; para edificios con calefacción y refrigeración por aire, se debe conseguir una carga de frío y calor menor de 10W/m²; el ensayo de hermeticidad de presión igual o inferior a 0,6 l/h n₅₀; las temperaturas superficiales interiores de la envolvente térmica en invierno debe ser superior a 17°C; la demanda de energía primaria renovable (PER) debe ser menor de 60, 45 o 30 kWh/m²a según diferentes niveles de certificación; y la generación de energía renovable debe ser superior a 60 o 120 kWh/m²a, según el nivel de certificación deseado (plus o Premium), siendo este factor modificable en función de la normativa nacional.

2.2.2. MINERGIE (MINERGIE, 2009)

Se trata de un estándar registrado en Suiza que busca que los edificios sean de gran calidad y eficiencia energética. Se definen diferentes niveles de certificación a los que les corresponden diferentes niveles de exigencia como se muestra en la Tabla 2.

Minergie-Eco Estándar se basa en los certificados de la tabla 2 pero introduce seis aspectos nuevos (luz del día, aislamiento acústico, clima interior, concepto de construcción sostenible, energía gris y materialización y procesos) de tal forma que analizan para este estándar 79 criterios, siendo 12 de ellos excluyentes.

Tabla 2. Tabla resumen sobre el estándar MINERGIE.

Certificado	Requisito Principal (kWh/(m ² a))	Demanda calefacción	Demanda energética sin PV (kWh/(m ² a))	Hermeticidad
Estándar	55			Sin medición
Minergie-P	50	Nuevo 70% Rehab. 90%	Nuevo: 35 Rehab.: 60	Medidas requeridas
Minergie-A	35			Medidas requeridas

En todos los niveles se exige una renovación del aire controlado y una protección contra el calor en verano

2.2.3. BBC-EFFINERGIE (EFFINERGIE, 2007)

Es un estándar registrado en Francia, que establece un consumo de energía promedio de 50 kWh/m²a de energía primaria, en función de la zona climática y la altitud, pudiendo llegar a alcanzar 70 kWh/m²a, teniendo en cuenta las necesidades de aire acondicionado, calefacción, ACS y ventilación. En viviendas rehabilitadas no debe exceder de 80 kWh/m²a.

Para obtener este certificado se estudian la necesidad bioclimática para el edificio, el consumo de energía primaria, la permeabilidad del aire, un control de medidas en el sistema de ventilación, unas calificaciones de diseño y la puesta en servicio del sistema.

2.2.4. OTROS CERTIFICADOS

Existen otros certificados como HQE (Francia), DGNB (Alemania), EnerGuide (Canadá), CASBEE (Japón), NatHERS (Australia), LEED (Estados Unidos) o BREEN (Reino Unido) que analizan, de una forma independiente, diferentes parámetros con el fin de obtener los criterios para la certificación. Dichos parámetros pueden ser la evaluación de la sostenibilidad del emplazamiento, la eficiencia en el uso del agua, energía, atmósfera, materiales, recursos, calidad del aire interior, contaminación, innovación, salud y bienestar, residuos, etc. En todos estos certificados, los parámetros analizados no son públicos.

3. Análisis de requerimientos aislamiento térmico

Dado que el aislamiento de la envolvente es la mejor medida para reducir la demanda energética del edificio, es necesario establecer valores mínimos de transmitancia en los diferentes elementos constructivos de los edificios. En España, el Documento Básico HE del CTE (España, 2019) establece, en función de cada una de las cinco zonas climatológicas definidas en España, los coeficientes de transmitancias mínimos para diferentes elementos constructivos, como se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3. Valores límite de transmitancia térmica U_{lim} (W/m²K) en España

Zona climática	α	A	B	C	D	E
Muros y suelos en contacto con aire exterior	0,80	0,70	0,56	0,49	0,41	0,37
Cubierta	0,55	0,50	0,44	0,40	0,35	0,33
Paramentos en contacto con el terreno	0,90	0,80	0,75	0,70	0,65	0,59
Aberturas	3,2	2,7	2,3	2,1	1,8	1,8

El estándar de certificación Passive House (PHI, 2016), que actualmente es un referente en muchos países, define los coeficientes de transmisión térmica que se tienen que cumplir en cada componente en función del clima en el cual se proyecta el edificio como se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4. Valores de transmitancia según Passive House Institute

Zona climática	Envolvente opaca respecto al...		
	..terreno		...aire exterior
	Aislamiento	Aislamiento exterior W/(m ² K)	Aislamiento interior W/(m ² K)
Polar		0,09	0,25
Frío		0,12	0,3
Frío-templado	Determinado específicamente en el PHPP para cada proyecto.	0,15	0,35
Cálido-templado		0,3	0,5
Cálido		0,5	0,75
Caluroso		0,5	0,75
Muy caluroso		0,25	0,45

ASHRAE define los coeficientes de transmisión térmica, mostrados en la Tabla 5, que se tienen que cumplir en cada componente en función del clima en el cual se proyecta el edificio

Tabla 5. Valores de transmitancias según ASHRAE (ASHRAE, 2017)

Zona climática	Muros		Cubiertas		Ventanas	
	Residen.	No residen.	Residen.	No residen.	Residen.	No residen.
0	0,151	0,580	0,032	0,039	0,30	0,30
1	0,151	0,580	0,039	0,048	0,48	0,48
2	0,123	0,151	0,039	0,039	0,35	0,35
3	0,104	0,123	0,039	0,039	0,31	0,33
4	0,086	0,099	0,030	0,030	0,29	0,29
5	0,076	0,086	0,030	0,030	0,29	0,29
6	0,067	0,076	0,030	0,030	0,29	0,29
7	0,067	0,067	0,027	0,027	0,27	0,27
8	0,046	0,046	0,027	0,027	0,24	0,24

En la Tabla 6 se muestran los valores de los coeficientes de transmitancia para ventanas y paramentos de diferentes países europeos, según las legislaciones de cada uno de ellos.

Tabla 6. Criterios de U para ventanas y paramentos (W/m²K)

Estado	Paramentos verticales	Ventanas	Estado	Paramentos verticales	Ventanas
Austria	0,45	1,5	Lituania	0,18	1,62
Bélgica	0,78	2,47	Luxemburgo	0,35	1,3
Bulgaria	0,43	2,23	Malta	1,57	5,8
Chipre	1,39	2,7	Holanda	0,4	2,01
Rep. Checa	0,38	1,7	Polonia	0,43	2,3
Dinamarca	0,25	1,71	Portugal	0,77	3,15
Estonia	0,23	1,05	Rumania	0,9	1,4
Finlandia	0,26	1,5	Eslovaquia	0,46	1,7
Francia	0,38	1,8	Eslovenia	0,28	1,3
Alemania	0,35	1,6	España	0,8	3,1
Grecia	0,55	3,12	Suecia	0,18	-
Hungría	0,45	1,5	Serbia	0,9	2,6
Irlanda	0,32	2,53	Croacia	0,34	1,8
Italia	0,85	4			

5. Comparativa económica de requerimientos de aislamiento térmico

La transmitancia térmica, U (W/m²K), para un cerramiento tipo con aislamiento se define como se indica en la ecuación 1.

$$U_{ca} = \frac{1}{R_i + R_{mc} + R_{aisl} + R_{ext}} \quad (1)$$

donde R_i y R_{ext} son respectivamente la resistencia térmica de la película interior y exterior, respectivamente y R_{mc} es la resistencia térmica del material del cerramiento y R_{aisl} es la resistencia térmica del material aislante.

La resistencia térmica del material aislante se define como se indica en la ecuación 2.

$$R_{aisl} = \frac{X}{k} \quad (2)$$

siendo X (m) el espesor del material aislante y k (W/mK) su coeficiente de conductividad térmica.

El coste del material aislante C_{aisl} (€/m²) puede calcularse como se indica en la ecuación 3.

$$C_{aisl} = C_i * X \quad (3)$$

donde C_i es el coste por m³ del material aislante y X (m) el espesor del material aislante.

En la Figura 3, se muestra una fachada tipo de un edificio residencial. Desde el exterior hasta el interior, la pared consta de enlucido de cemento de 20 mm, aislamiento térmico, ladrillo de 240 mm y revoque de cal de 20 mm. Las características de los materiales de construcción propuestos y los posibles materiales aislantes a utilizar se muestran en las Tablas 7 y 8, respectivamente.

Figura 3. Fachada tipo de un edificio residencial

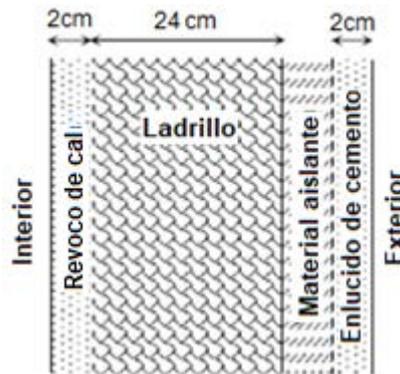


Tabla 7. Propiedades de materiales de construcción (Açikkalp 2019; Jie, 2018)

Material	Conductividad térmica (W/mK)	Espesor (m)	Resistencia térmica (m ² K/W)
Enlucido de cemento	0,72	0,02	0,028
Ladrillo común	0,69	0,24	0,348
Revoco de cal	0,43	0,02	0,047

Tabla 8. Propiedades de materiales aislantes (Açikkalp 2019; Kurekci, 2016; Yu, 2009)

Material aislante	Conductividad térmica (W/mK)	Coste (€/m ³)
Poliestireno expandido	0,046	45
Poliestireno extruido	0,033	70
Lana de roca	0,04	145
Lana de vidrio	0,032	113
Poliuretano	0,024	285

Como se muestra en la Figura 4, la transmitancia de la fachada tipo mostrada en la Figura 3 dependerá del tipo de material aislante que se utilice y esta decisión condicionará el espesor de aislante necesario: para una misma transmitancia, la capa aislante necesaria sería menor si se utiliza poliuretano que si se utiliza poliestireno expandido o lana de roca; por otra parte el comportamiento de poliestireno extruido y lana de vidrio es el mismo en cuanto a su capacidad aislante para un mismo espesor.

Sin embargo, este criterio no debería ser el único a considerar en el proceso de toma de decisión de qué material aislante utilizar, ya que también se debería tener en cuenta el criterio económico. En la Figura 5 se muestra el coste de los diferentes materiales aislantes para diferentes espesores.

Las transmitancias máximas admisibles para una fachada tipo como la representada en la Figura 3 son diferentes según las normativas estatales o los certificados internacionales para NZEB. En la Tabla 9 se muestra el coste por cada m² de fachada que supondría el cumplimiento de cada uno de ellos para una vivienda situada en zona climática D según CTE

(zona 3 según ASHRAE y zona Cálida-templada según Passive House). En este caso, teniendo en cuenta la combinación de propiedades técnicas de los materiales y el coste de los mismos sería recomendable utilizar poliestireno expandido, se necesitaría mayor espesor de material que utilizando otros materiales aislantes pero el coste sería menor.

Figura 4. Transmitancias vs espesores de diferentes materiales aislantes

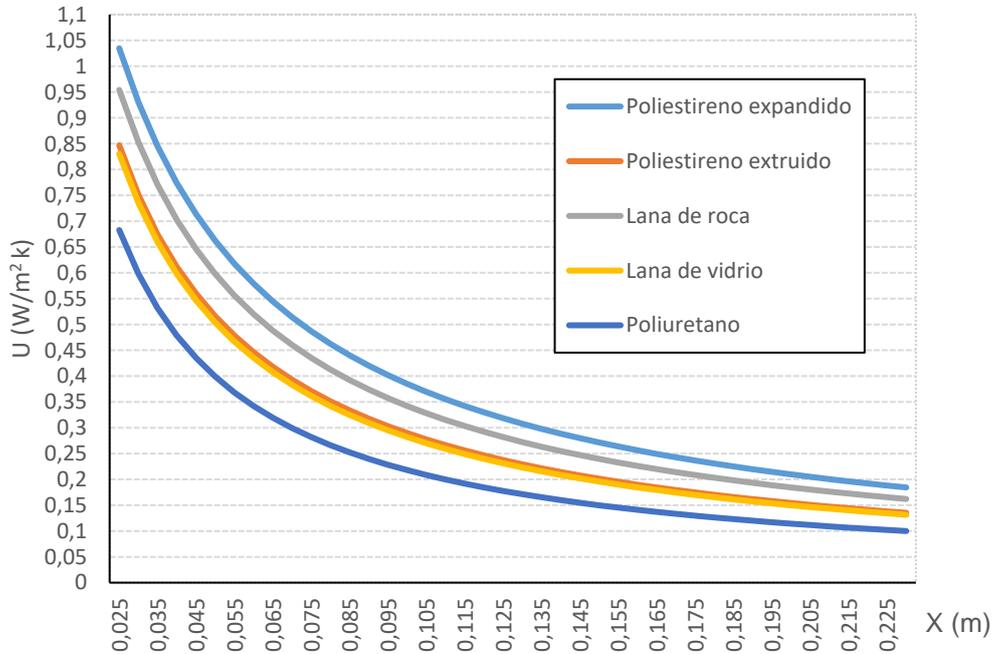


Figura 4. Espesores de diferentes materiales aislantes vs coste

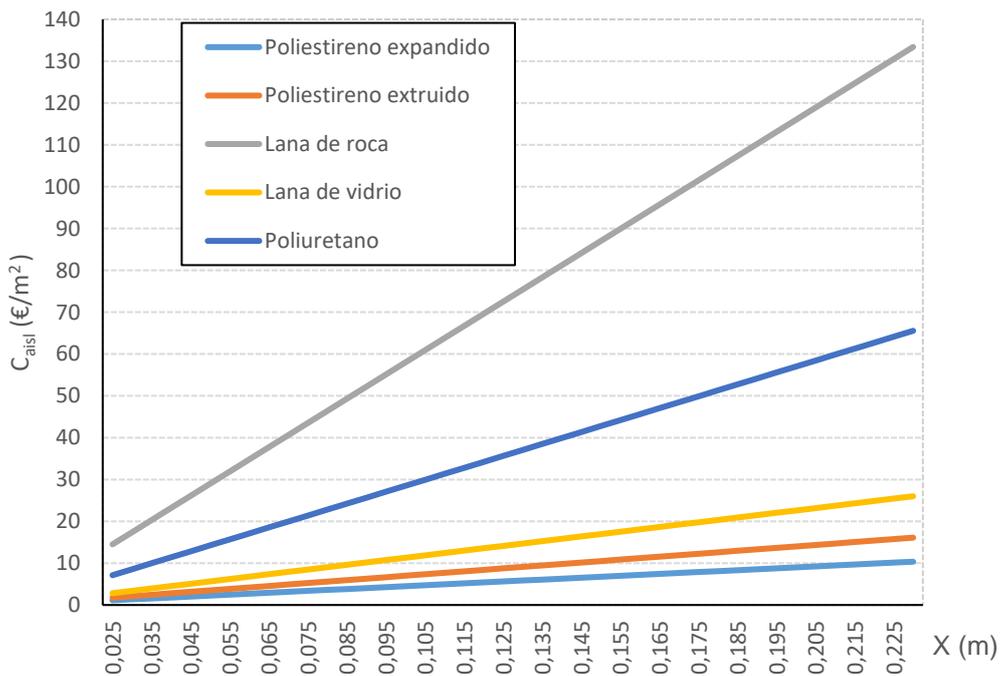


Tabla 9. Coste de aislante según diferentes normativas o certificados para vivienda situada en zona climática IV según CTE

Normativa/Certificado	CTE	Passive House	AHSRAE	Francia	Alemania
Transmitancia	0,41	0,3	0,104	0,38	0,35
Material aislante (€/m ²)					
Poliestireno expandido	4,16	5,96	18,9	4,5	4,95
Poliestireno extruido	4,55	6,65	21,35	5,6	5,07
Lana de roca	46,4	66,7	211,17	50,75	56,55
Lana de vidrio	7,34	10,17	33,34	7,91	8,75
Poliuretano	13,5	19,95	64,13	14,96	16,38

5. Conclusiones

La actualidad mundial está marcada por la gran concienciación social del ahorro energético y la sostenibilidad energética. El 40% de la energía generada se consume en las edificaciones, por lo que es necesario una revisión de los criterios utilizados para la reducción del consumo. De entre todas las posibles medidas para reducir el consumo en edificios, mejorar el aislamiento térmico de la envolvente sería la mejor medida para reducir su demanda energética.

Para viviendas nuevas o rehabilitación térmica de fachadas, con un incremento del 43% en el presupuesto de la partida de la fachada podríamos lograr una reducción de la transmitancia de la fachada de 0,1. Por cada reducción en 0,1 del valor de transmitancia de la fachada de un edificio, podríamos conseguir un ahorro energético de un 3% y una reducción del 3% de toneladas emitidas de CO₂.

6. References

- Açıkkalp, E. & Kandemir S.Y. (2019) A method for determining optimum insulation thickness: Combined economic and environmental method. *Thermal Science and Engineering Progress* 11, 249–253
- ASHRAE (2017). Standard 189.1-2017, Standard for the Design of High-Performance Green Buildings. Recuperado 15 Diciembre de 2019, de: <https://www.ashrae.org/technical-resources/standards-and-guidelines/read-only-versions-of-ashrae-standards>
- Attia, S., Eleftheriou, P., Xenii, F., Morlot, R., Ménézo, C., Kostopoulos, V., Betsi, M., Kalaitzoglou, I., Pagliano, L., Cellura, M., Almeida, M., Ferreira, M., Baracu, T., Badescu, V., Crutescu, R. & Hidalgo-Betanzos J.M. (2017). Overview and future challenges of nearly zero energy buildings (nZEB) design in Southern Europe. *Energy and Buildings*, 155, 439–458
- Attia S. (2018). Net Zero Energy Building (NZEB) Net Zero Energy Buildings (NZEB): Concepts, Frameworks and Roadmap for project analysis and implementation. Chapter 2. Butterworth-Heinemann. Elsevier Inc.
- BPIE (2013). Implementing the cost-optimal methodology in EU countries. The Buildings Performance Institute Europe
- Comisión europea (2019). Comprehensive study of building energy renovation activities and the uptake of nearly zero-energy buildings in the EU

- D'Agostino D, (2015). Assessment of the progress towards the establishment of definitions of nearly zero energy buildings (nZEBs) in European Member States, *Journal of Building Engineering*.
- D'Agostino, D. & Mazzarella, L. (2019). What is a Nearly zero energy building? Overview, implementation and comparison of definitions. *Journal of Building Engineering* 21, 200–212.
- Deng, S., Wang, R.Z. & Dai Y.J. (2014) How to evaluate performance of net zero energy building - A literature research, *Energy*, 71: 1-16.
- EFFINERGIE (2007). Le label effinergie+. Recuperado 15 Diciembre de 2019, de: <https://www.effinergie.org/web/index.php/les-labels-effinergie/le-label-effinergie-plus>
- España. Real Decreto 732/2019, de 20 de diciembre, por el que se modifica el Código Técnico de la Edificación, aprobado por el Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo.
- Jie, P., Zhang F., Fang, Z., Wang & H. Zhao, Y. (2018). Optimizing the insulation thickness of walls and roofs of existing building based on primary energy consumption, global cost and pollutant emissions. *Energy*, 159, 1132-1147
- Kurekci N.A. (2016) Determination of optimum insulation thickness for building walls by using heating and cooling degree-day values of all Turkey's provincial Energy and Buildings, 118, 197–213
- Kurnitski, J., Saari, A., Kalamees, T., Vuolle, M., Niemelä, J. & Tark T. (2011) Cost optimal and nearly zero (NZEB) energy performance calculations for residential buildings with REHVA definition for NZEB national implementation, *Energy and Buildings*, 43, 3279–3288.
- MINERGIE (2009). Planning and project. The MINERGIE-Standard for Buildings. Recuperado 20 Diciembre de 2019, de: https://residence-immobilien.ch/sites/default/files/the_minergie_standard_for_buildings_en_0.pdf
- Passive House Institute (2016) PASSIVE HOUSE CRITERIOS. Criterios para los Estándares Casa Pasiva, EnerPHit y PHI Edificio de baja demanda energética. Ed. Passive House Institute
- Stephan, A., Crawford, R. H. & Myttenaere, K. (2012). Towards a comprehensive life cycle energy analysis framework for residential buildings. *Energy and Buildings*, 55, 592-600
- Unión Europea. Directiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 19 de mayo de 2010, relativa a la eficiencia energética de los edificios. *Diario Oficial de las Comunidades Europeas*, 18 de junio de 2010, núm. 153, pp. 13-35.
- Unión Europea. Directiva 2012/27/UE del Parlamento Europeo y del Consejo de 25 de octubre de 2012 relativa a la eficiencia energética, por la que se modifican las Directivas 2009/125/CE y 2010/30/UE, y por la que se derogan las Directivas 2004/8/CE y 2006/32/CE
- Unión Europea. Directiva 2018/844/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 30 de mayo de 2018 por la que se modifica la Directiva 2010/31/UE relativa a la eficiencia energética de los edificios y la Directiva 2012/27/UE relativa a la eficiencia energética
- Yu, J., Yang, C., Tian, L. & Liao D. (2009) A study on optimum insulation thicknesses of external walls in hot summer and cold winter zone of China. *Applied Energy*, 86, 2520–2529

**Comunicación alineada con los
Objetivos de Desarrollo Sostenible**

