



industriales
etsii

Escuela Técnica
Superior
de Ingeniería
Industrial

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial

Edificios de consumo casi cero: requerimientos de aislamiento térmico.

TRABAJO FIN DE GRADO

GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS
INDUSTRIALES (GITI)

Autor: Mario Sánchez López.
Director: Ana María Nieto Morote.

Cartagena, 19 de septiembre de 2020



Universidad
Politécnica
de Cartagena

ÍNDICE

| | |
|--|-----------|
| 1. INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| 2. ENTORNO ENERGÉTICO | 2 |
| 3. EDIFICIOS DE CONSUMO DE ENERGÍA CASI CERO | 3 |
| 3.1 Definición..... | 3 |
| 3.2 Aspectos técnicos de los edificios de consumo energético casi cero..... | 4 |
| 3.3 Principios de diseño..... | 6 |
| 4. ENVOLVENTE TÉRMICA | 7 |
| 5. DIRECTIVA EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LOS EDIFICIOS (EPBD)..... | 14 |
| 5.1 Evolución de las normativas europeas..... | 14 |
| 5.2 Estándares EPBD..... | 22 |
| 5.3 Transposiciones de las normativas europeas..... | 24 |
| 5.3.1 Alemania..... | 24 |
| 5.3.2 Finlandia..... | 26 |
| 5.3.4 Italia..... | 28 |
| 5.3.5 Austria..... | 30 |
| 5.3.6 España..... | 32 |
| 6. OTROS ESTÁNDARES SOBRE EDIFICIOS DE CONSUMO DE ENERGÍA CASI NULO | 39 |
| 6.1 Passive House..... | 39 |
| 6.2 ASHRAE | 41 |
| 7. ANÁLISIS COMPARATIVO REQUERIMIENTOS DE AISLAMIENTO TÉRMICO..... | 43 |
| 8. ANÁLISIS ECONÓMICO Y ESPESOR ÓPTIMO..... | 53 |
| 8.1 Método de cálculo del espesor óptimo..... | 53 |
| 8.2 Cálculo del espesor óptimo para una fachada..... | 58 |
| 9. Conclusión..... | 63 |

1. INTRODUCCIÓN

Actualmente en la Tierra están aconteciendo fenómenos de contaminación atmosférica, terrestre y de las aguas. Estos pueden provocar efectos muy negativos en los seres vivos que habitan el planeta por lo que hay que limitarlos al máximo posible. Para ello es necesario utilizar fuentes de energía renovables y reducir el consumo energético al máximo para que se pueda cubrir la demanda de energía sin necesidad de utilizar fuentes de energía no renovables (combustibles fósiles y energía nuclear).

Para poner solución a estos problemas de contaminación en 1997 la mayoría de países del mundo firmaron el protocolo de Kioto con el objetivo de reducir las emisiones de los gases de efecto invernadero que provocan contaminación y calentamiento global. Desde entonces la Unión Europea ha ido legislando sobre diferentes sectores para cumplir con los objetivos de reducir entre 2013 y 2020 el 20% de las emisiones de gases de efecto invernadero que se producían en 1990 (Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico, s.f.).

En este trabajo se analizarán las diferentes directivas sobre la eficiencia energética de los edificios emitidas por la Unión Europea desde la primera en 1993 hasta la última en 2019. A partir de estas directivas cada país ha transpuesto las medidas adaptándolas a su situación tradicional constructiva, económica, climática y política, particularizando el estudio en la transposición española recogida en la última versión del Código Técnico de Edificación de España en 2019.

Conjuntamente se expondrán otras medidas de eficiencia energética propuestas por organizaciones globales como son Passive House y ASHRAE.

De las diferentes partes y sistemas que componen un edificio el trabajo se centrará en el estudio de la envolvente térmica, particularmente en el aislamiento térmico de la fachada. Siendo una de las partes en contacto con el ambiente exterior, la fachada tiene que cumplir unos requisitos mínimos según cada estándar para mantener el interior con unas condiciones óptimas de confort.

El espesor del aislante es uno de los factores que más influyen a la hora de cumplir los requisitos mínimos de cada estándar por lo que se calculará primeramente el espesor mínimo para posteriormente calcular el espesor óptimo.

Por último se realizará un análisis económico para calcular el espesor óptimo de aislante ya que es un valor importante que hará que el edificio este aislado correctamente para las horas de calefacción y refrigeración que necesita siendo esta inversión rentable a lo largo del tiempo.

2. ENTORNO ENERGÉTICO

Se conoce como consumo energético a la energía empleada para la realización de una acción determinada, esta energía puede proceder de distintas fuentes como los combustibles fósiles, el sol, el viento, etc. A finales del siglo XX los países empezaron a darse cuenta del enorme consumo de energía que necesitaban. Entre 1990 y 2017 se produjo un aumento del 59,39% de la energía primaria suministrada en mega toneladas equivalentes de petróleo (Mtoe) (Internacional Energy Agency, 2018).

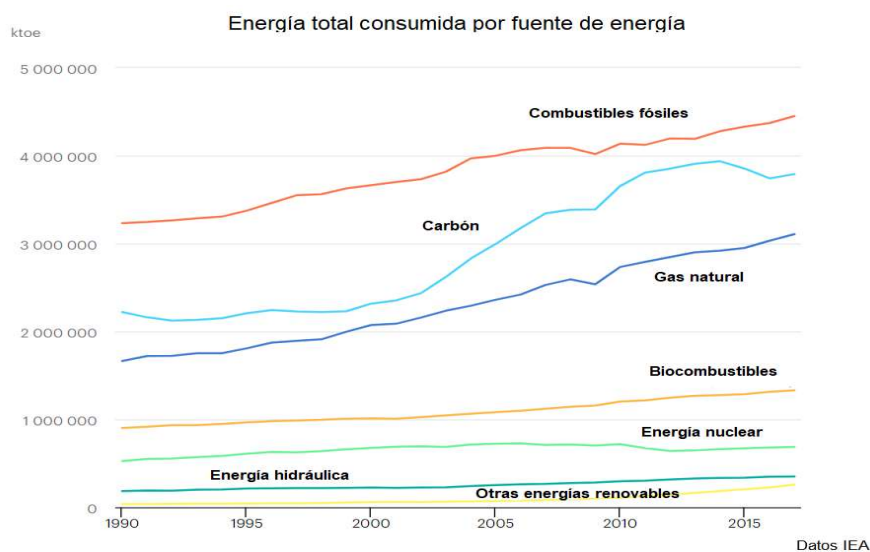


Figura 1 Energía global consumida

Fuente: Internacional Energy Agency.

Los países industrialmente más desarrollados del mundo se reunieron en 1997 con el objetivo de dar soluciones a este problema en la ciudad de Kioto, allí los gobiernos acordaron una serie de medidas energéticas, concretamente compromisos de reducción de emisiones de gases contaminantes. Este conjunto de compromisos se materializó en el “Protocolo de Kioto”. Este protocolo entró en vigor en el año 2005 y tenía como objetivo primario la reducción de al menos un 5% los niveles de emisiones que se produjeron en 1990 en un periodo comprendido entre 2008 y 2012. Después de este primer periodo de aplicación, en la Cumbre de Naciones Unidas referente al Cambio Climático de 2012 se admitió una segunda etapa de compromiso del protocolo de Kioto comprendida entre 2013 y 2020 en el que Europa se comprometió a reducir un 20% las emisiones de gases totales respecto a las de 1990 (Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico, s.f.).

En Europa debido al aumento de energías renovables, mejoras en la eficiencia energética y cambios estructurales en la economía se produjo un descenso del 10% de consumo total de energía entre 2005 y 2015. Además, en el año 2015 aumentó un 17% la producción de energía de origen renovables con la finalidad

de cumplir el compromiso adoptado en el “Protocolo de Kioto” (Agencia Europea de Medio Ambiente, 2017).

La Comisión europea ha estimado que los edificios constituyen el 40 % del gasto energético y el 36 % de las emisiones de dióxido de carbono en la Unión. Estos datos nos indican la importancia de construir edificios más eficientes y dependientes de fuentes renovables debido a la gran cantidad de energía que estos consumen.

En Europa, las mejoras de eficiencia energética en los edificios para alcanzar los objetivos tendrán un impacto aproximado de reducción de un 5% y 6% el consumo de energía y a la vez un descenso de las emisiones de dióxido de carbono en un 5% (Ciucci, 2020).

En el caso de España, alrededor del 21 % de las viviendas tienen una vida superior a los cincuenta años y aproximadamente el 58 % de los inmuebles se construyeron con anterioridad a la publicación de las normativas de eficiencia energética del código técnico de edificación. (Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico, s.f.)

Esto hace que en 2018 el consumo energético del sector de la construcción fuese de 1218 toneladas equivalentes de petróleo (ktep) y el consumo energético del sector residencial fuese de 14867 ktep, estos consumos suponen un 18,5 % del total de consumo de energía final. (Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico, s.f.)

Otro dato que indica que cada vez es menor la dependencia energética de las fuentes no renovable en España es el del consumo de energía final que se produjo en 2016 cuando las energías renovables supusieron un 17,3% del consumo total, tres décimas superiores al valor medio europeo 17% (Instituto Nacional de Estadística, s.f.)

Como consecuencia de estos datos, en 2019 España introdujo una modificación en el documento básico de energía del CTE para poder hacer frente a los nuevos requisitos europeos de mínimo consumo y consumo sostenible.

3. EDIFICIOS DE CONSUMO DE ENERGÍA CASI CERO

3.1 Definición

El concepto de “*nZEB (nearly zero energy building)*”, edificio de consumo casi cero en castellano, ha ido ganando cada vez más importancia dentro de la industria internacional de la construcción. El objetivo de estos edificios es conseguir una baja demanda de energía y unas bajas emisiones de gases nocivos para la atmósfera. A pesar de que internacionalmente es conocido este término no existe una definición común y consensuada a nivel internacional por lo que cada país o comunidad de países está promulgando unas leyes y unos objetivos propios.

Todas estas leyes tienen como base común el balance energético entre las pérdidas y las ganancias que se producen en un edificio.

La mayoría de las definiciones tomadas por cada país tienen como punto común la importancia del equilibrio entre la energía suministrada y la energía requerida para exista un confort en las viviendas.

La primera y vigente definición de “nZEB” de una institución europea se recogió en la “Directiva 2010/31/UE del parlamento europeo y del consejo de 19 de mayo de 2010 relativa a la eficiencia energética de los edificios”. La definición que se establece en dicho documento es “edificio con un nivel de eficiencia energética muy alto, que se determinará de conformidad con el marco general común del cálculo de la eficiencia energética de los edificios. La cantidad casi nula o muy baja de energía requerida debería estar cubierta, en muy amplia medida, por energía procedente de fuentes renovables, incluida energía procedente de fuentes renovables producida in situ o en el entorno”.

3.2 Aspectos técnicos de los edificios de consumo energético casi cero.

Como hemos visto un edificio “nZEB” es aquel que tiene un rendimiento energético muy alto y en el cual la baja cantidad de energía requerida está cubierta por energía de origen renovable.

Para definir los aspectos técnicos de este tipo de edificaciones primero se tiene que adoptar un indicador numérico de energía primaria, en la Directiva (UE) 2018/844 se acordó que las unidades de este indicador para los países miembros sería de kilovatios hora partido de metros cuadrados por año (kWh / m²*a).

La metodología del cálculo del consumo energético está basada en la energía entregada y exportada a un sistema, este sistema que cada estado definirá puede estar formado por un edificio o un conjunto de edificios de las mismas características. Es importante delimitar el sistema para poder estudiar los flujos de energía que interactúan con el sistema como se muestra en la figura 2.

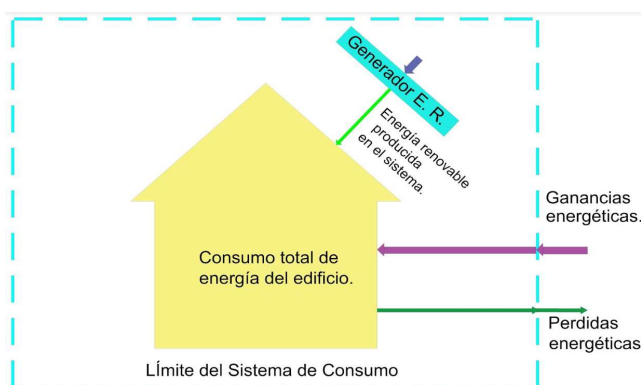


Figura 2. Límites de un sistema de consumo energético

Fuente: Elaboración propia

Estableciendo el edificio como sistema de estudio, es necesario calcular la demanda energética antes de cuantificar el consumo energético. La demanda energética se calcula como un balance energético entre las pérdidas producidas por transmisión y ventilación y las ganancias producidas por ganancias internas y ganancias solares.

$$Demanda\ global = Pérdidas - Ganancias$$

Una vez calculada la cantidad de energía que necesita un sistema para cumplir los requisitos de confort, se intentará que estos sean cubiertos en la medida de lo posible por energías renovables ya sean generadas en el mismo sistema o a través de la conexión a un sistema urbano que produzca energía renovable.

El consumo energético será la cantidad de energía que no ha sido cubierta por la contribución de energía renovable que es necesaria suministrar a los sistemas técnicos del edificio según su eficiencia como calefacción, ACS, refrigeración, iluminación, ventilación y control de humedad para cumplir los requerimientos de confort.

$$Consumo\ energético = \frac{Demanda\ energética}{Rendimiento\ del\ sistema} - Energía\ renovable$$

La energía renovable situada dentro del sistema es aquella que produce electricidad o energía térmica mediante sistemas de producción sin combustibles fósiles, algunos ejemplos son paneles solares, colectores solares, turbinas eólicas, etc.

Para estudiar el consumo de energía primaria de un edificio es necesario fijar un indicador numérico que cuantifique la cantidad de energía consumida, en la directiva europea Directiva (UE) 2018/844 se adoptó el KiloWatio por hora entre metro cuadrado por año (kWh/(m².a)) como indicador numérico.

La energía primaria es aquella que es suministrada al sistema procedente de fuentes de energía renovables y no renovables. Esta energía irá sufriendo pérdidas en la transformación, en el transporte y en funcionamiento de los sistemas técnicos hasta que se convierte en energía útil para las viviendas.

Para cuantificar el paso de energía primaria a energía útil existen los factores o coeficientes de paso. Estos coeficientes se basan en la relación entre el consumo que se produce en el lugar de generación y el consumo final que se hace en el sistema. Los valores para los coeficientes son fijados por cada estado teniendo en cuenta en tipo de central de producción, las pérdidas en el proceso de generación, las pérdidas en la distribución y las emisiones de CO₂ debidas al combustible utilizado. En la figura 3 se muestra el proceso desde que se consigue la materia prima que produce energía hasta que se consume dicha energía.

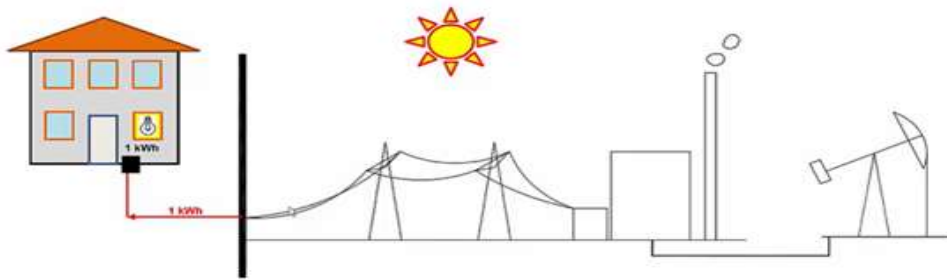


Figura 2. Transporte de energía

Fuente: EPB center

La energía primaria puede proceder de fuentes renovables o no renovables por lo tanto hay que realizar el cálculo individual de energía primaria en cada fuente porque los coeficientes de paso no son los mismos para las fuentes renovables que para las fuentes no renovables (Kurnitski, 2013).

La energía primaria no renovable que se suministra al sistema será:

$$E_{P,in} = E_{in} * f_{in,no\ renov}$$

- E_P es la energía primaria entregada no renovable en kWh/a.
- E_{in} es la energía primaria en kWh/a.
- $f_{in,no\ renov}$ es el factor de conversión de energía de origen no renovable.

La energía primaria de origen renovable que se suministra al sistema será:

$$E_{P,in} = E_{in} * f_{in,renov}$$

- E_P es la energía primaria entregada renovable en kWh/a.
- E_{in} es la energía primaria en kWh/a.
- $f_{in,renov}$ es el factor de conversión de energía renovable.

A partir de estas nociones básicas sobre los balances energéticos en los edificios y los coeficientes de paso de la energía cada estado establece unas pautas y fija unos criterios para calcular el consumo energético de sus edificios.

3.3 Principios de diseño.

Los edificios de consumo de energía casi nulo buscan conseguir la máxima eficiencia energética reduciendo los consumos al máximo. Para conseguir esto existen varios conceptos y soluciones en los que se basan los diferentes estándares de diseño, pero todos ellos tienen en común una serie de principios básicos.

Existen cuatro principios de diseño nZEB que pueden ser implementados y detallados dependiendo del contexto climático y arquitectónico, estos principios básicos de diseño son (Attia):

- Reducir la demanda energética de los edificios nuevos. La demanda de energía total de un edificio es la suma de las demandas de calefacción, aire acondicionado, agua caliente sanitaria, ventilación, iluminación, electrodomésticos y energía auxiliar.
- Mejorar la calidad del ambiente interior, esto significa controlar la temperatura de confort evitando sobrecalentamiento y subenfriamiento mediante sistemas de control de calidad del aire.
- Establecer un porcentaje de energías renovables para cubrir la demanda energética. Esta energía renovable puede ser producida en el edificio, en las cercanías o plantas de energías renovables alejadas. También es importante tomar medidas para el almacenamiento de esta energía.
- Minimizar al máximo el gasto de energía primaria y reducir las emisiones de gases nocivos.

Otra estrategia de eficiencia energética en los edificios es “*Trias Energetica*”, esta fue desarrollada en el año 1979, en la Universidad Tecnológica de Delft por el profesor Kees Duijvestein. Esta estrategia constaba de tres pasos para construir un edificio de alta eficiencia energética. Estos pasos son (Attia):

- Reducir la demanda de energía evitando las pérdidas energéticas para ello es necesario aplicar medidas de conservación de la energía.
- Utilizar fuentes de energía sostenibles en lugar de combustibles fósiles.
- Si es necesario la utilización de combustibles fósiles utilizarlos de la manera más limpia y eficiente posible.

Estas estrategias de diseño expuestas son los principios fundamentales de los edificios ultra eficientes. A partir de estos principios cada estándar constructivo (PassiveHouse, EPBD, ASHRAE) propone una serie de soluciones dependiendo de los factores climáticos, económicos, ambientales, políticos y sociales donde se vaya a realizar la construcción.

4. ENVOLVENTE TÉRMICA

La envolvente térmica es el conjunto de elementos constructivos que aísla el espacio interior habitable del ambiente exterior, de la tierra y de los edificios contiguos, está compuesta por la cubierta, la fachada, los huecos, los puentes

térmicos y los cerramientos internos y externos. Según cada estándar o código técnico la envolvente térmica puede englobar más particiones internas o no.

El principal propósito de la envolvente térmica es preservar las condiciones de confort en el interior de la vivienda. El confort térmico se define como *“aquella condición mental que expresa satisfacción con el ambiente térmico”* (ISO 7730). Los parámetros ambientales que afectan a la sensación térmica de una persona en el interior de una vivienda son la temperatura del aire, la temperatura radiante media, la velocidad del aire y la humedad relativa. Para los edificios en España el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE) establece unos valores para los parámetros ambientales anteriores.

Las condiciones de confort térmico para espacios con actividades sedentarias como son las viviendas, las oficinas, las aulas, etc, se fijan mediante unos valores determinados para las variables de temperatura operativa, humedad relativa y velocidad del aire. La temperatura operativa es un parámetro que se define como la media entre la temperatura del aire seco y la temperatura radiante media, los valores fijados para este parámetro junto con la humedad relativa del aire dependen de la estación (Asociación Técnica Española de Climatización y Refrigeración (ATECYR)).

| Estación | Temperatura operativa (°C) | Humedad relativa (%) |
|----------|----------------------------|----------------------|
| Verano | 23...25 | 45...60 |
| Invierno | 21...23 | 40...50 |

Tabla 1. Condiciones interiores de confort

Fuente: “Guía técnica de instalaciones de climatización con equipos autónomos”.

La velocidad media del aire también cuenta con unos valores máximos tabulados según la temperatura operativa y el tipo de difusión que se produzca.

| Temperatura operativa | Velocidad media máxima (m/s) | |
|-----------------------|------------------------------|-----------------------------|
| | Difusión por mezcla | Difusión por desplazamiento |
| 21,0 | 0,14 | 0,11 |
| 22,0 | 0,15 | 0,12 |
| 23,0 | 0,16 | 0,13 |
| 24,0 | 0,17 | 0,14 |
| 25,0 | 0,18 | 0,15 |

Tabla 2. Limitación velocidad media máxima del aire.

Fuente: “Guía técnica de instalaciones de climatización con equipos autónomos”.

Una de las partes más importantes de la envolvente es la fachada. Fachada, *facies* en latín, significa etimológicamente cara exterior. La fachada junto con la cubierta es la parte del edificio más expuesta al ambiente exterior y a los fenómenos

meteorológicos por lo que debe ser aislada correctamente para preservar el confort y conseguir un consumo casi nulo.

Aparte del aislamiento adecuado otro factor importante es la orientación de la fachada. La fachada es una de las partes del edificio por donde más ganancias solares se obtienen, esto hace que la orientación de la fachada condicione el consumo energético. Para escoger una buena orientación es necesario conocer la trayectoria solar, el sol sale por el este y se pone por el oeste, por lo tanto, en el hemisferio norte donde más se expone el sol es en el sur y el norte es donde menor irradiación directa se produce. Una fachada orientada al sur recibirá mayores ganancias solares que una fachada orientada en el norte.

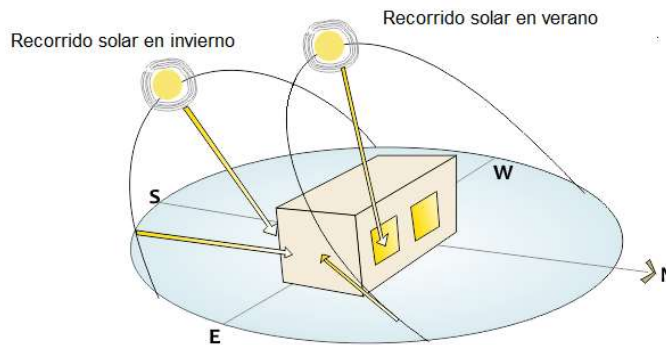


Figura 4. Recorrido del Sol.

Fuente: nzeb.in

En el hemisferio sur se produce el caso contrario, donde más irradiación se produce es en el norte y donde menor irradiación recibe la fachada es en el sur.

En España, el código técnico de edificación diferencia en grados angulares las diferentes orientaciones de las fachadas.

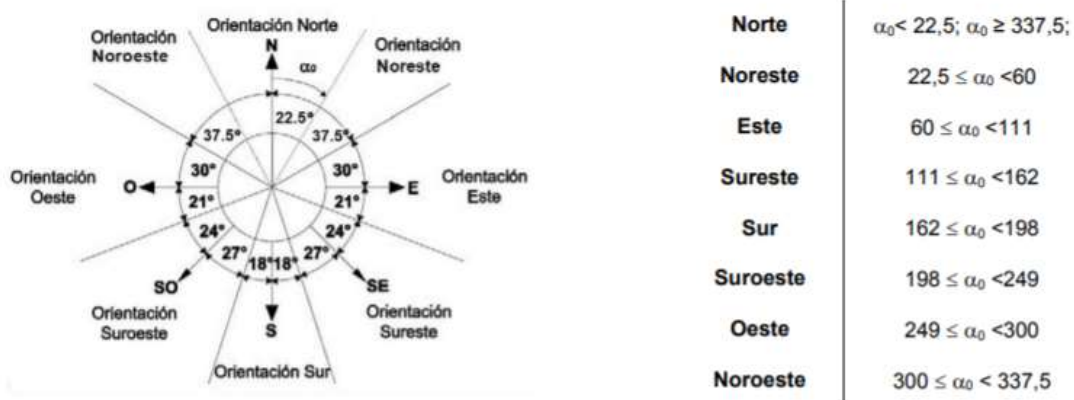


Figura 5. Orientación de fachadas

Fuente: Código técnico de edificación DB-HE/1

Existen diferentes soluciones constructivas de aislar térmicamente la envolvente, estas se pueden clasificar según sea por el interior del cerramiento o por el exterior del cerramiento.

- Aislamiento térmico por el interior.

Solución constructiva que consiste en la instalación de material aislante por el interior de la vivienda, esto supone un aislamiento irregular debido a la imposibilidad de aislar las vigas, por donde se pueden producir pérdidas. Las soluciones constructivas de este tipo de aislamiento según el Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja (Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja y Instituto de la Construcción de Castilla y León., s.f.) son:

- Fachada de fábrica vista, no ventilada, aislamiento interior.
- Fachada de fábrica vista, ventilada, aislamiento interior.
- Fachada de fábrica con revestimiento continuo, no ventilada, aislamiento interior.
- Fachada de fábrica con revestimiento discontinuo, no ventilada, aislamiento interior.
- Fachada de fábrica con revestimiento discontinuo, ventilada, aislamiento interior.

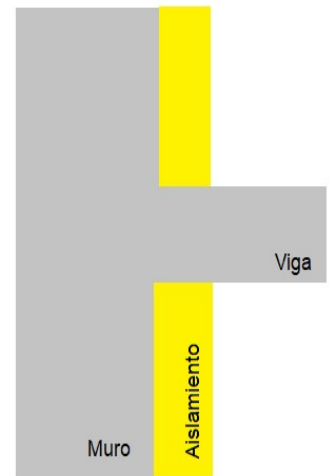


Figura 6. Aislamiento interior

Fuente: fuente propia

- Aislamiento térmico por el exterior.

Solución constructiva que consiste en la instalación de material aislante por el exterior de la vivienda, esta técnica supone un aislamiento regular que impide la aparición de puentes térmicos y con ello una menor cantidad de pérdidas. Las soluciones constructivas de este tipo de aislamiento según el Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja (Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja y Instituto de la Construcción de Castilla y León., s.f.) son:

- Fachada de fábrica con revestimiento continuo, no ventilada, aislamiento exterior.
- Fachada de fábrica con revestimiento discontinuo, ventilada, aislamiento exterior.

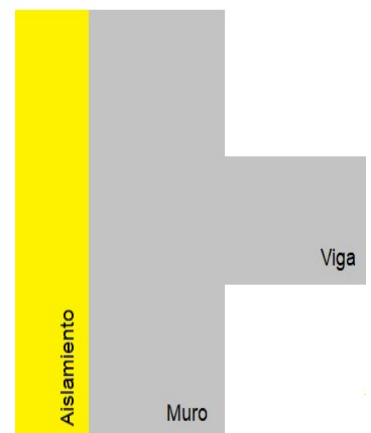


Figura 7. Aislamiento exterior

Fuente: Fuente propia

Para realizar un aislamiento térmico efectivo es importante escoger el material aislante adecuado. Los materiales aislantes térmicos son aquellos que reducen o impiden el paso de un flujo de calor, para ello las características que deben tener son:

- Baja conductividad térmica.
- Baja permeabilidad con la humedad.
- Resistencia al agua y a los solventes químicos.
- Resistencia al fuego.

- Bajo coste.

Los materiales que mejor cumplen estas características y que son recomendados por el catálogo de elementos constructivos del CTE (Instituto Eduardo Torroja de ciencias de la construcción, CEPCO y AICIA) son lana mineral, espuma de poliuretano, poliestireno expandido y poliestireno extruido.

- Lana mineral

Las lanas minerales son un material formado por fibras inorgánicas entrelazadas y aglomeradas con resinas sintéticas que hacen que se forme una estructura flexible con aire inmóvil en su interior. Existen dos tipos de lanas minerales que provienen de materias primas naturales, la lana de vidrio compuesta con arena de sílice y la lana de roca compuesta con roca de basalto. El proceso de producción de este material se basa en la fusión de rocas ígneas a altas temperaturas.

Las principales características de las lanas minerales son (Asociación de fabricantes españoles lanas minerales aislantes, s.f.):

- Poseen unas bajas conductividades térmicas entre 0,042 y 0,032 W/m·k que hacen que se reduzca considerablemente la transmisión de calor.
- Aparte de aislar térmicamente también aíslan acústicamente, gracias a su estructura logran que las ondas sonoras se amortigüen y pueden reducir el ruido hasta 70 decibelios.
- Las lanas minerales son incombustibles a causa de su origen inorgánico, esto hace que no se generen gases nocivos al estar en contacto con el fuego. Esta propiedad es importante ya que incrementa la seguridad de los edificios contra los incendios.
- Las lanas minerales son materiales con una alta durabilidad, no se degradan con el paso del tiempo por tener origen rocoso y arenoso. No pierden propiedades térmicas con el envejecimiento.
- Las lanas minerales tienen también función de barrera contra las humedades, su estructura fibrilar presenta una resistencia al paso de vapor que reduce el riesgo de que se formen humedades en el interior.



Figura 8. Lana mineral

Fuente: Isovler

- Espuma de poliuretano

La espuma de poliuretano es un material duroplástico, poroso y de origen sintético que se obtiene como resultado de la reacción química exotérmica entre el Polioliol y el Isocianato. La aplicación de la espuma de poliuretano puede darse por proyección o por inyección (Asociación de Instaladores de Aislamiento, 2016).

La espuma de poliuretano por proyección se obtiene pulverizando simultáneamente los dos elementos en la cámara de la pistola proyectora sobre una superficie llamada sustrato.



Figura 9. Espuma de poliuretano por proyección

Fuente: laespumadepoliuretano.com

La espuma de poliuretano por inyección se obtiene como resultado de la mezcla y batido de los dos componentes que se inyectan en una cavidad donde se expanden. El proceso de inyección se lleva a cabo a través de un orificio que se hace en el cerramiento por donde se introduce la espuma que se expande entre las dos cámaras.

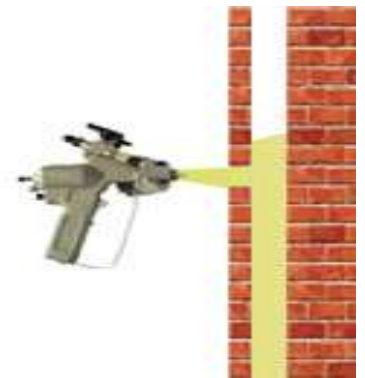


Figura 10. Espuma de poliuretano por inyección

Fuente: grupoprofil.com

Las principales características de la espuma de poliuretano son (Asociación de Instaladores de Aislamiento, 2016):

- La espuma de poliuretano es calificada como un buen aislante térmico debido a su baja conductividad térmica. Según la norma UNE 92202 tiene un valor de $0,022 \text{ W/m}\cdot\text{k}$ a $10 \text{ }^\circ\text{C}$ y nueve meses después de su colocación tiene un valor de $0,028 \text{ W/m}\cdot\text{k}$.
- No destaca por sus propiedades de aislante acústico puesto que es un material ligero y de baja densidad, sin embargo, combinado con otros materiales puede reducir la transmisión de las ondas sonoras.
- La espuma de poliuretano al ser un material orgánico (Polioliol y Isocianato) es combustible en presencia de fuego. Por ello existen variedades que han sido creadas añadiendo aditivos para hacerla menos combustible, estas variedades se clasifican según la norma UNE-EN 13501.
- La espuma de poliuretano es un material impermeable que es ideal para evitar la presencia de agua en los cerramientos y en el interior del edificio. Sin embargo, sí que es permeable al paso del vapor de agua, lo cual puede producir condensaciones. Para reducir el paso de vapor de agua es necesario aumentar la densidad de la espuma.
- Tiene un ciclo de vida útil de más de 50 años.

- Poliestireno expandido

El poliestireno expandido es un material plástico derivado del poliestireno, con una composición de un 95% de poliestireno y un 5% de gas. El poliestireno se obtiene mediante el proceso químico de la polimerización del estireno. El poliestireno expandido (EPS) es usado diversos sectores como la construcción, los envases y los embalajes.



Figura 11. Poliestireno expandido

Fuente: Amazon.es

Las principales características del poliestireno expandido son (Asociación Nacional de Poliestireno Expandido, s.f.):

- El poliestireno expandido se caracteriza por ser un material con una baja densidad, del orden de 10 a 50 Kg/m^3 .
- El poliestireno expandido posee un bajo coeficiente de conductividad térmica del orden de 0,035 a 0,043 $W/m \cdot K$, lo que le convierte en un buen aislante térmico.
- Es un material que no es higroscópico, es decir, que no absorbe la humedad del medio que le rodea.
- No es un material que sea especialmente aislante acústico, pero se han desarrollado derivados para reunir en un mismo material aislamiento térmico y acústico.
- En relación al comportamiento frente al fuego se contrae debido al calor, pero no arde ni provoca una gran cantidad de humo.

- Poliestireno extrusionado

El poliestireno extruido es un material termoplástico de estructura celular cerrada que su composición química es exactamente igual que la del poliestireno expandido (95% poliestireno, 5% gas). La diferencia entre el poliestireno extrusionado y el poliestireno expandido radica en el método de construcción (Aislamientos Kover S.L., s.f.).



Figura 12. Poliestireno extrusionado

Fuente: Bauhaus.es

Las principales características del poliestireno extrusionado son (Aislamientos Kover S.L., s.f.):

- El poliestireno extrusionado posee un bajo coeficiente de conductividad térmica del orden de 0,033 a 0,036 W/m·k.
- Dada su estructura celular cerrada es un material insensible al agua y que actúa también como barrera al vapor de agua lo que hace que se reduzcan la formación de humedades. Es un material que suele usarse para aislar cubiertas planas invertidas.
- El poliestireno extrusionado al igual que el poliestireno expandido tiene una baja densidad del orden de 30 Kg/m^3 .
- Al poliestireno extruido se le suelen añadir aditivos ignífugos para aumentar su resistencia al fuego y poder cumplir las normativas de reacción al fuego de los materiales.

5. DIRECTIVA EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LOS EDIFICIOS (EPBD).

La directiva sobre la eficiencia energética de los edificios fue creada por el Parlamento y el Consejo Europeo, entró en vigor el 4 de enero de 2003 y tuvo que ser aplicada por los estados miembro a más tardar el 4 de enero de 2006.

La finalidad de esta directiva es que a finales de 2020 todos los edificios de nueva construcción sean de consumo de energía casi nulo y también todos los edificios nuevos de las administraciones públicas.

Según la directiva el rendimiento energético de los edificios debe calcularse sobre una metodología que puede diferenciarse a nivel regional y nacional, en este cálculo metodológico juegan un papel importante las instalaciones de calefacción, aire acondicionado, fuente de energía renovables, sombreados, horas de luz, zona climática, aislamiento térmico y diseño del edificio.

5.1 Evolución de las normativas europeas.

En Europa la primera normativa sobre la certificación energética de los edificios apareció en el año 1993, con la Directiva 93/76/CE. Esta directiva tuvo como principal propósito la limitación de las emisiones de dióxido de carbono mediante mecanismos que mejoraran la eficiencia energética como el aislamiento térmico eficaz de nuevos edificios, la certificación energética de los edificios, inspección periódica de calderas, etc. (El Consejo Europeo, 1993).

Unos años después, en 2002 se formuló una nueva y más precisa directiva, Directiva 2002/91/CE debido a la gran influencia que tienen los edificios en el

consumo a largo plazo, por eso la Unión Europea dictó la Directiva sobre la eficiencia energética de los edificios (EPBD).

El principal objetivo de esta directiva se detalla en el artículo uno y fue “fomentar la eficiencia energética de los edificios de la Comunidad teniendo en cuenta las condiciones climáticas exteriores y las particularidades locales, así como los requisitos ambientales interiores y la relación coste-eficacia”. En esta directiva se dio por primera vez definición a términos clave como: eficiencia energética de un edificio, certificado de eficiencia energética y cogeneración.

Se adoptaron medidas sobre la metodología del cálculo de la eficiencia energética que su aplicación recayó sobre cada estado miembro. La metodología escogida por cada país tenía que incluir los siguientes aspectos de los edificios: características de la envolvente térmica, instalaciones de agua caliente y calefacción, instalaciones de aire acondicionado, instalaciones de iluminación, ventilación, condiciones climáticas y orientación, sistemas de protección solar pasivos, ventilación natural y condiciones interiores. También se especificarán los aspectos positivos de sistemas renovables, sistemas de calefacción y refrigeración urbanos, sistemas de cogeneración e iluminación natural. Dentro del marco metodológico cada estado clasificara sus edificios según: viviendas unifamiliares, edificios de viviendas, edificios de oficinas, hospitales, “centros de enseñanza, hoteles, restaurantes, instalaciones deportivas, edificios comerciales” y edificio que consuman energía.

Los estados tenían que establecer unos requisitos de eficiencia energética teniendo en cuenta factores climáticos que intervienen en las cargas internas, la ventilación y la iluminación; factores constructivos y el uso del edificio. Estos requisitos serán aplicables a edificios nuevos con una superficie útil superior a 1000 m^2 y a edificios existentes que realicen reformas que afecten a una superficie útil superior a 1000 m^2 .

Esta normativa del 2002 obligaba a que existiese un certificado de rendimiento energético que estuviese disponible cada vez que se construyese, vendiese o alquilase un edificio. También daba libertad propia a los estados para excluir de aplicar estos requisitos a una serie de edificios como: edificios y monumentos protegidos por su valor histórico o arquitectónico, edificios utilizados como lugares de culto, construcciones provisionales con una utilización igual o inferior a dos años, así como a instalaciones industriales y agrícolas con una baja demanda de energía (Papaglastra, 2017).

En 2010 se redactó la Directiva 2010/31/UE relativa a la eficiencia energética de los edificios. Esta era una refundición de la EPBD de 2002 la cual derogaba a partir del 1 de febrero de 2012.

Las principales ideas que se recogen en la Directiva 2010/31/UE son:

- El objetivo de dicho documento es fomentar la eficiencia energética de los edificios y su rentabilidad considerando las distintas condiciones climáticas, ambientales y económicas, particulares de los estados miembros. También

tiene como finalidad el fomento de planes nacionales para el aumento de edificios nZeb.

- En el documento se recogen una serie de definiciones técnicas para términos que pueden causar ambigüedad y discrepancias entre unos países y otros, como son “*edificio de consumo de energía casi nulo*”, “*energía primaria*”, “*Envoltente del edificio*”, “*Nivel óptimo de rentabilidad*”.
- Los estados adoptarán a escala nacional o regional una metodología de cálculo de eficiencia energética acorde con un marco general común en el que se tienen que encontrar los aspectos que ya se trataron en la Directiva 2002/91/CE e incluir las características térmicas del edificio sobre capacidad térmica, aislamiento, puentes térmicos, calefacción pasiva y elementos de refrigeración. Este marco se establecerá partiendo de la cantidad de energía consumida anualmente para satisfacer las necesidades de confort (temperatura, agua caliente, etc.). Se expresará mediante un indicador de eficiencia energética y un indicador numérico de consumo de energía primaria basado en factores que proporcionará el suministrador.
- Cada estado fijará unos requisitos respecto a la eficiencia de las instalaciones técnicas de los edificios (calefacción, agua caliente, aire acondicionado y ventilación).
- Se establece como límite el 31 de diciembre de 2020 para que todos los edificios de nueva construcción de la Unión Europea sean edificios de consumo de energía casi nulo y el 31 de diciembre de 2018 para los edificios de nueva construcción propiedad de las administraciones públicas
- Los estados miembros se encargarán de promover dichos requisitos de eficiencia elaborando una serie de medidas e incentivos financieros.
- Las certificaciones energéticas de los edificios tendrán una validez que no excederá los diez años.
- Respecto a la determinación de los niveles óptimos de rentabilidad se creará un marco metodológico que relacione la eficiencia energética y los aspectos económicos con el fin de conseguir unos niveles óptimos de rentabilidad de los requisitos mínimos de eficiencia energética. Estos requisitos mínimos serán revisados como máximo cada cinco años para su actualización si fuese necesaria. El marco metodológico para el cálculo de la rentabilidad óptima se recoge en un documento posterior a la directiva, Reglamento delegado (UE) N° 244/2010 de la Comisión.

En 2012 se presentó el Reglamento Delegado UE 244/2012 como complemento de la directiva anterior con el objetivo de fijar un marco común que permita

comparar los resultados obtenidos de los estudios de rentabilidad y eficiencia energética de los edificios nuevos y existentes en cada país. En este Reglamento Delegado se muestra cómo construir un marco metodológico común para optimizar costes. El método de cálculo necesita primero que cada país determine el ciclo de vida útil de los edificios, los costes de los vectores energéticos, los factores de conversión de energía primaria, etc. También hay que tener en cuenta un gran número de incertidumbre y supuestos como para el precio de la energía y la tasa de actualización, estos supuestos se suelen acompañar con análisis de sensibilidad y con estimaciones sobre el precio de los combustibles realizadas por la Comisión Europea.

Para conseguir un marco metodológico comparativo con un enfoque común, la Comisión establece una serie de condiciones comunes (La Comisión Europea, 2012):

- Fijar como año inicial el año en el que se lleve a cabo el cálculo.
- El período de cálculo será de treinta años para los edificios residenciales y públicos y de veinte años para los edificios no residenciales, los tipos de costes.
- Los estados deberán incluir los costes de inversión iniciales, los costes de funcionamiento, los costes de energía, los costes de eliminación y los costes de las emisiones de gases de efecto invernadero.
- Los estados tendrán que utilizar en su procedimiento de cálculo los datos de la evolución estimada del precio del carbono. Los precios mínimos que la Comisión Europea fija hasta el año 2050 son:

| Evolución del precio del carbono | 2020 | 2025 | 2030 | 2035 | 2040 | 2045 | 2050 |
|--|------|------|------|------|------|------|------|
| Referencia (acción frag., precios comb. fós. de ref.) | 16,5 | 20 | 36 | 50 | 52 | 51 | 50 |
| Tecn. efect. (acción glob., precios comb. fós. bajos) | 25 | 38 | 60 | 64 | 78 | 115 | 190 |
| Tecn. efect. (acción frag., precios comb. fós. de ref.) | 25 | 34 | 51 | 53 | 64 | 92 | 147 |

Tabla 6. Evolución del precio del carbono

Fuente: Reglamento Delegado UE 244/2012

Además, cada estado completará el marco metodológico comparativo con los factores que ha establecido de: ciclo de vida útil de los edificios, tasa de actualización, coeficientes de conversión de energía primaria, costes de los vectores energéticos y evolución de los precios de la energía.

El procedimiento para construir el marco metodológico de costes es:

1. Establecer edificios de referencia.

Cada estado fijará unos edificios de referencia para las categorías de edificios unifamiliares, edificios multifamiliares y edificios de oficinas. A su vez pueden fijar subcategorías diferenciadas por la superficie del edificio, los materiales de

construcción, la zona climática en la que se encuentre, la orientación y las instalaciones técnicas.

2. Identificación de las medidas de eficiencia energética, medidas basadas en fuentes de energía renovables y variantes aplicables a edificios de referencia.

Se tienen que definir correctamente los conceptos de constructivos y las medidas de eficiencia energética. Estos son la envolvente del edificio, la superficie que ocupan las ventanas, el aislamiento de cubiertas y los sistemas de suministros y las instalaciones específicas como son las bombas de calor, calderas, sistemas de refrigeración, sistemas de ventilación y sistemas basados en fuentes de energía renovables.

3. Cálculo de la demanda de energía primaria.

Para el cálculo de la demanda de energía primaria los estados podrán utilizar el método de cálculo establecido en los estándares europeos (EPB) concretamente en el estándar ISO 52000-1 o podrán utilizar un método nacional de cálculo equivalente a este estándar. Para estos cálculos se tendrá que tener en cuenta la consideración de que la energía que se genere en el sistema será deducida de la energía suministrada y de la demanda de energía primaria.

Los estados deberán de utilizar los coeficientes de conversión de energía primaria establecidos por cada país y tendrán que indicar el período de cálculo (20 o 30 años) así como la frecuencia con que se realicen los cálculos (anual, mensual o diaria).

Por último, los datos calculados de eficiencia energética se expresarán en m^2 de superficie útil del edificio de referencia.

4. Cálculo del coste global.

Primero los estados tendrán que describir y definir los diferentes tipos de costes, costes de inversión iniciales, costes de funcionamiento, costes de energía, costes de eliminación y costes de emisiones de gases de efecto invernadero. Para el cálculo de costes los estados tendrán que realizar previsiones sobre la evolución de los precios de las materias primas de las fuentes y la evolución de los precios de la energía.

En el estudio de los costes se empleará un período de cálculo de treinta años para los edificios residenciales y públicos y de veinte años para los edificios no residenciales y comerciales.

Los estados tienen la potestad de elegir la perspectiva desde la que realizar los cálculos. Una perspectiva macroeconómica en la que se tiene en cuenta los costes y beneficios que se le reportan a la sociedad el conjunto de inversiones. Una perspectiva financiera considerando los costes como privados e individuales, el caso de los inversores.

- **Costes desde la perspectiva financiera.**

En los costes globales a nivel financiero se tendrá que tener en cuenta el precio pagado por el cliente, incluyendo todos los impuestos. El coste global se calculará sumando todos los costes y aplicándoles la tasa de actualización. Los costes globales a largo de un período serán:

$$C_g(\tau) = C_I + \sum_j \left[\sum_{i=1}^{\tau} (C_{a,j}(j) * R_d(i)) - V_{f,\tau}(j) \right]$$

- τ : período de cálculo.
- $C_g(\tau)$: coste global a lo largo de un período.
- C_I : coste de inversiones iniciales o medidas iniciales.
- $C_{a,j}(j)$: coste anual de las medidas tomadas.
- $V_{f,\tau}(j)$: valor residual del conjunto de medidas al final de un período.
- $R_d(i)$: factor de actualización aplicado al año, basado en la tasa de actualización. La fórmula de su valor es:

$$R_d(p) = \left(\frac{1}{1 + r/100} \right)^p$$

- p : número de años desde el año de inicio.
- r : tasa de actualización real.

- **Costes desde la perspectiva macroeconómica.**

Desde la perspectiva macroeconómica se eliminarán todos los impuestos aplicables, las subvenciones y los gastos en la realización del cálculo del coste global. En este cálculo se tendrán que añadir los costes de las emisiones de gases de efecto invernadero, su fórmula es:

$$C_g(\tau) = C_I + \sum_j \left[\sum_{i=1}^{\tau} (C_{a,j}(j) * R_d(i) + C_{c,i}(j)) - V_{f,\tau}(j) \right]$$

- $C_{c,i}(j)$: coste de las emisiones de carbono de las medidas durante el año i .

El coste de las emisiones de carbono de las medidas en un período se calculará sumando todas las emisiones anuales y multiplicándolas por el precio previsto de tonelada equivalente de dióxido de carbono.

5. Análisis de sensibilidad para los datos de los costes.

El análisis de sensibilidad se realiza con el objetivo de determinar cuáles son los parámetros más importantes en este proceso de optimización de costes. Este análisis se realizará al menos con dos tasas de actualización para los costes a nivel macroeconómico y con al menos dos tasas de actualización para los costes a nivel financiero.

6. Nivel de eficiencia energética óptimo en términos de costes.

Se compararán los distintos costes globales de las medidas tomadas en cada uno de los edificios de referencia, esto servirá para conocer si las medidas tienen que ser más severas o no en términos de consumo de energía primaria.

Después se fijarán como referencia nacional los cálculos macroeconómicos o financieros para la comparación de los requisitos existentes en los edificios de referencia con los niveles óptimos que se han calculado (La Comisión Europea, 2012)

Cuatro años después, en 2016 se presentaba la Recomendación UE 2016/1318 con el objetivo de ayudar a los países a que cumplan las medidas tomadas en la normativa de 2010 antes de que termine 2020. Para ello se aconseja a los países que adopten definiciones y criterios ambiciosos que estén por encima de los niveles óptimos de rentabilidad previstos para los requisitos mínimos. También se cita la importancia de la integración de fuentes de energía renovables en los códigos técnicos de construcción de cada país.

Por último, se establecen unas referencias numéricas de consumo de energía por zonas climáticas (Recomendación 2016/1318, Comisión Europea). Estas referencias están recogidas en la siguiente tabla.

| TIPOLOGÍA DE EDIFICIO | ZONA | ENERGÍA PRIMARIA (kw/año) | ENERGÍA NETA PRIMARIA (kw/año) | FUENTE DE ENERGÍA RENOVABLE IN SITU (kw/año) |
|-----------------------|--------------|---------------------------|--------------------------------|--|
| OFICINA | Oceánica | 85-100 | 40-55 | 45 |
| | Continental | 85-100 | 40-55 | 45 |
| | Nórdica | 85-100 | 55-70 | 30 |
| | Mediterránea | 80-90 | 20-30 | 60 |
| VIVIENDA | Oceánica | 50-65 | 15-30 | 35 |
| | Continental | 50-70 | 20-40 | 30 |
| | Nórdica | 65-90 | 40-65 | 25 |
| | Mediterránea | 50-65 | 0-15 | 50 |

Tabla 7. Referencias de consumo energético por zonas climáticas.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Recomendación 2016/1318, Comisión Europea.

En 2018 el parlamento europeo redactó la Directiva 2018/844 mediante la cual modificaba ciertos aspectos de la Directiva 2010/31/UE relativa a la eficiencia energética de los edificios y la Directiva 2012/27/UE relativa a la eficiencia energética. En este documento se recogen una serie de medidas que los estados deberán adoptar a más tardar el 10 de marzo de 2020 (El Parlamento Europeo y El Consejo de la Unión Europea, 2018).

Las modificaciones más significativas de la Directiva 2018/844 son:

- Cada estado definirá una estrategia de renovación a largo plazo de sus edificios residenciales y no residenciales con el objetivo de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero para el año 2050 entre un 80 – 95 % respecto a las de 1990. Los estados irán estableciendo una serie de objetivos para los años 2030, 2040 y 2050.
- En los edificios nuevos, cuando sea económica y técnicamente viable se deberán instalar equipos de autorregulación que regulen la temperatura ambiente de cada estancia interior, en los edificios existentes se exigirá esta medida cuando se sustituyan generadores de calor y su instalación sea económica y técnicamente viable.
- Los estados miembros exigirán la instauración de instalaciones de electromovilidad y aplicaciones inteligentes en los edificios de nueva construcción. En los edificios no residenciales con más de diez plazas de aparcamiento se deberá instalar un punto de carga para vehículos eléctricos y una canalización por cada cinco plazas que permita una futura instalación según se recoge en la Directiva 2014/94/UE relativa a la implementación de infraestructuras para los combustibles alternativos.
- Los estados establecerán unas inspecciones periódicas a aquellas instalaciones de calefacción y ventilación con una potencia nominal superior a 70 Kw .
- Los estados establecerán unas inspecciones periódicas a aquellas instalaciones de aire acondicionado y ventilación con una potencia nominal superior a 70 Kw.
- Se establecen una serie de unidades de medida. El consumo de energía primaria se expresará en kWh/(m².a) en la certificación de eficiencia. Además los estados miembros podrán también definir indicadores de consumo de energía primaria renovables y no renovables en kg de CO₂ eq/(m².y).
- Los estados tendrán que adoptar una metodología de cálculo según los estándares ISO 52000-1, 52003-1, 52010-1, 52016-1 y 52018-1 elaborados por el mandato M/480 que se otorgó al Comité Europeo de Normalización. (Anexo, Directiva 2018/844/UE).

En mayo de 2019 la Comisión Europea elaboró la Recomendación 2019/786 relativa a la renovación de los edificios. El objetivo de este documento es ayudar a los estados a establecer unas estrategias de renovación a largo plazo (ERLP) eficaces y rentables para alcanzar la descarbonización del parque inmobiliario europeo para el año 2050. El conjunto de acciones de los estados tendrá que estar dirigidas a los edificios menos eficientes del parque nacional, a la pobreza energética y a los fallos de mercado. Los fallos de mercado son el conjunto de problemas que retrasan las modificaciones del parque inmobiliario como son la falta de concienciación sobre el uso y ahorro de energía, la carencia de atractivos financieros y la utilización limitada de tecnologías inteligentes y eficientes.

Estas estrategias de renovación tendrán un presupuesto, unos alcances y una duración que establecerá cada estado. (Recomendación 2019/786, Comisión Europea).

5.2 Estándares EPBD.

Los estándares de eficiencia energética de los edificios (EPB) se crearon con el objetivo de que los países miembros de la Unión Europea cumplieran de manera eficaz y homogénea los requisitos de la Directiva de 2010. En 2012, la Comisión Europea dio el mandato (M/480) al Comité Europeo de Normalización (CEN), al Comité Europeo de Normalización Electrotécnica (CENELEC) y al Instituto Europeo de Normas de Telecomunicaciones (ETSI) para la elaboración de un conjunto de normas que permitieran calcular el rendimiento energético de un edificio. En este proceso de construcción de los estándares EPB se tuvo una planificación conjunta en algunos aspectos entre el Comité Europeo de Normalización (CEN) e ISO (Organización Internacional de Normalización), esto hizo que se prepararan normas EPB como normas ISO. Finalmente, en 2017 se aprobaron las normas EPB (Buso, 2017).

En la Directiva 2018/844/UE de 2018 se introdujo el requisito de que los estados definirían su método de cálculo basándose en una serie de normas pertenecientes a los estándares europeos creados. La revisión hace mención a cinco normas generales de los estándares, estos son:

- **ISO 52000-1:** Es la norma que establece el marco general de evaluación de los estándares y la que evalúa y calcula globalmente la eficiencia energética de los edificios. En ella se establece también una diferenciación de las categorías de edificios para el análisis (hospital, hotel, vivienda unifamiliar, etc.) y de cómo debe ser la elección de los factores energéticos entre otros muchos parámetros tratados.
- **ISO 52003-1:** En esta norma se define el uso de indicadores energéticos y la relación de estos con los requisitos y la clasificación de demás estándares. Además, fija los pasos a seguir para la creación de una certificación energética.

- **ISO 52010-1:** Esta norma es relativa a condiciones climáticas a las que se ven expuestos los edificios. En ella explican procedimientos de conversión de datos climáticos para el cálculo de energía y cómo evaluar los datos climáticos que afectan a los elementos y sistemas del edificio.
- **ISO 52016-1:** Esta norma trata métodos para calcular de la energía necesaria para calefacción y aire acondicionado, la temperatura interna y temas de la humidificación y deshumidificación del aire. También desarrolla métodos de cálculo para el cálculo de cargas y necesidades energéticas.
- **ISO 52018-1:** Esta norma proporciona unos indicadores de equilibrio térmico y una serie de características posibles para complacer requisitos de confort térmico, aislamiento global, puentes térmicos y rendimiento energético de ventanas.

Aparte de los estándares generales nombrados, en la revisión de la directiva existen estándares para todas las áreas del proceso constructivo que necesiten para su realización un uso energía y para los sistemas energéticos

- **ISO 6946:** Esta norma proporciona el método de cálculo para calcular la transmitancia y resistencia térmica de los elementos constructivos.
- **ISO 52017-1:** En esta norma se especifican las ecuaciones de cálculo y las condiciones de contorno para obtener unas condiciones específicas de temperaturas internas y humedad.
- **ISO 52022-3:** En esta norma se especifica un método para determinar la transmitancia total debido a la radiación solar y la transmitancia de la luz solar a través de los elementos constructivos.
- **ISO 13370:** En este documento se proporcionan métodos de cálculo para los coeficientes de transmisión de calor de los elementos constructivos en contacto con el suelo incluyendo pisos suspendidos, sótanos, cimientos y muros.

Debido a las diferencias climáticas, culturales, políticas, legales y de tradición constructiva en la Directiva 2018/844/UE se permite a los países que escojan métodos y datos de referencia nacionales.

Para permitir esta flexibilidad en las normas del rendimiento energético de un edificio (EPB) existen los “anexos nacionales” que son plantillas relativas a la metodología pertinente de la norma que pueden ser completadas con opciones o valores voluntarios predeterminados (EPB Center, s.f.). Cada norma tiene dos anexos:

- Anexo A: Plantilla de la norma que contiene valores o datos de obligatorio cumplimiento que no puede ser modificada.
- Anexo B: Plantilla de la norma que complementa al Anexo A que puede ser completada con datos o valores predeterminados por cada estado. Este proporciona un conjunto de opciones y condiciones voluntarias.

5.3 Transposiciones de las normativas europeas.

Conforme a la Directiva 2010/31/UE relativa a la eficiencia energética, cada país tiene que transponer las normas de dicha directiva a su código técnico de edificación para su correcta aplicación. Desde 2010 los países miembros han ido adaptando y modificando sus legislaciones para adaptarse a las normas europeas.

La Unión Europea está formada por 27 países, de los cuales vamos a estudiar las transposiciones que han realizado 4 países de diferentes zonas climáticas. Alemania de la zona oceánica, Italia de la zona mediterránea, Austria de la zona continental y Finlandia de la zona nórdica. Estas zonas se indicaron en la recomendación de la comisión de 2016 en la que establecía ciudades de referencia (Recomendación 2016/1318, Comisión Europea).

5.3.1 Alemania

En Alemania la transposición de las normas europeas se recoge en un documento llamado Ordenanza de ahorro energético (EnEV) promulgado en el 2013 junto con otros documentos de procedimientos de cálculo recogidos en las normas DIN. El objetivo de estos documentos es reducir la demanda de energía primaria en un 80% para el año 2050 (Bogdan Atanasiu, s.f.).

Las principales medidas recogidas en este documento son:

- El establecimiento de un valor máximo de energía primaria dependiendo de las características de un edificio de referencia. El edificio de referencia tiene la misma geometría, dimensiones estructurales, superficie útil y orientación, el EnEV proporciona información para el diseño y el equipamiento técnico. (Tuschinski, s.f.)
- Establecimiento de unos requisitos mínimos de aislante térmico para los edificios dependiendo de si su uso es para viviendas o no.

| Componentes del edificio | | U-valores [W/m²K] | | | | | | | | | |
|--------------------------|-----------------------------------|----------------------|------|------------------------|-----------|----------|-----------|---------|-----------|----------|-----------|
| | | Vivienda unifamiliar | | Vivienda multifamiliar | | Oficinas | | Colegio | | Hospital | |
| | | Nueva | Ren | Nueva | Ren | Nueva | Ren | Nueva | Ren | Nueva | Ren |
| Paredes | Fachada | 0,28 | 0,24 | 0,28 | 0,24 | 0,28 | 0,24 | 0,28 | 0,24 | 0,28 | 0,24 |
| | | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – |
| | | 0,35 | – | 0,35 | – | 0,35 | 0,35 | 0,35 | 0,35 | 0,35 | 0,35 |
| Ventanas y puertas | Ventanas y puertas francesas | 1,30 | 1,30 | 1,30 | 1,30 | 1,30 | 1,30 | 1,30 | 1,30 | 1,30 | 1,30 |
| | | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – |
| | Claraboyas | 1,40 | 1,40 | 1,40 | 1,40 | 1,40 | 1,40 | 1,40 | 1,40 | 1,40 | 1,40 |
| | | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – |
| Luz de cúpula | 2,70 | – | 2,70 | – | 2,7 | – | 2,7 | – | 2,7 | – | |
| Puertas exteriores | 1,80 | – | 1,80 | – | 1,8 – 2,9 | – | 1,8 – 2,9 | – | 1,8 – 2,9 | – | |
| Techos | Techo y/o techo del piso superior | 0,2 | 0,20 | 0,2 | 0,20 | 0,20 | 0,20 | 0,20 | 0,20 | 0,20 | 0,20 |
| | | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – |
| | | 0,24 | – | 0,24 | – | 0,35 | 0,35 | 0,35 | 0,35 | 0,35 | 0,35 |
| | Techos de cristal | – | 2 | – | 2 | 2,70 | 2,00-2,70 | 2,70 | 2,00-2,70 | 2,70 | 2,00-2,70 |
| Suelos | Sótano | 0,30 | – | 0,30 | – | – | – | – | – | – | – |

Tabla 8. Requisitos de transmitancia térmica en Alemania.

Fuente: Overview of the EU-27 building policies and programmes- WP5 ENTRANZE

- El establecimiento de un porcentaje mínimo de energía renovable para calefacción, agua y aire acondicionado (Horst-P. Schettler-Köhler).

| Opciones energéticas de la ley de Energías Renovables | Valores mínimos |
|---|-----------------|
| Energía procedente de colectores solares | 15% |
| Energía geotérmica o energía procedente del calor ambiente producida en bombas de calor | 50% |
| Biomasa gaseosa (usado en sistemas de cogeneración) | 30% |
| Biomasa líquida (uso en calderas) | 50% |
| Biomasa sólida (uso en calderas) | 50% |
| Combustión de residuos orgánicos contenidos en materiales de desecho | 50% |
| Plantas de cogeneración | 50% |
| Calefacción urbana producida por RES, materiales de desecho y por cogeneración | 100% |

Tabla 9. Opciones para cumplir la ley de Energías Renovables.

Fuente: Concerted Action Energy Performance of Buildings.

Alemania también ha establecido sus propios factores de conversión de energía primaria, especificando la parte procedente de fuentes no renovables permitida (Concerted Action Energy Performance Of Building, 2018)

| Fuente de energía | Factor de conversión | |
|----------------------|----------------------|------------------------------------|
| | total | proporción de energía no renovable |
| Gas natural | 1,1 | 1,1 |
| Carbón | 1,1 | 1,1 |
| Biogas | 1,5 | 0,5 |
| Madera | 1,2 | 0,2 |
| Biofuel | 1,5 | 0,5 |
| Combustibles fósiles | 1,3 | 1,3 |
| Energía solar | 1,0 | 0,0 |
| Energía geotérmica | 1,0 | 0,0 |

Tabla 10. Factores de energía primaria

Fuente: Concerted Action Energy Performance of Buildings.

El gobierno alemán ha diseñado un plan estratégico basado en leyes e incentivos financieros para reducir un 80% su consumo de energía primaria no renovable en los edificios y alcanzar unos edificios de consumo energético nulo en 2050.

Estos incentivos financieros están divididos en distintos niveles según la energía primaria consumida. En total existen seis niveles que abarcan desde el más ambicioso, un 55% de demanda de energía primaria fijada en la Ordenanza de Ahorro de Energía de 2013, al menos ambicioso, un 115% de demanda de energía primaria fijada en la Ordenanza de Ahorro de Energía de 2013. Los incentivos comienzan por un cubrir un 12,5 % del préstamo para acometer el proyecto hasta un 27,5 % para el nivel más ambicioso. Además, para aquellos que realicen una reforma el gobierno alemán ofrece préstamos promocionales para paquetes de medidas como ventanas, sistemas de aislamiento, calefacción con un valor máximo por casa de 50.000 €.

5.3.2 Finlandia

El responsable de la implementación de la directiva europea EPBD en Finlandia es el Ministerio de Medio Ambiente. El 1 de enero de 2017 entró en vigor la Ley del Suelo y Construcción en la cual se estableció la definición de nZEB.

Los requisitos de eficiencia energética para nuevos edificios están recogidos en el código de edificación finlandés. Este documento recoge los requisitos mínimos para el aislamiento térmico y para el consumo general de energía de los nuevos edificios.

Los valores requeridos de aislamiento térmico son:

| Elementos del edificio | | Valores de U [W/m ² K] |
|------------------------|--|--------------------------------------|
| Paredes | Pared | 0,17 |
| | Pared de madera | 0,40 |
| Windows | Window, door, skylight | 1,0 |
| Techos | Techo | 0,09 |
| Suelos | Suelo en planta baja | 0,16 |
| | Suelo cuando hay cimientos ventilados | 0,17 |

Tabla 11. Requisitos de transmitancia térmica en Finlandia.

Fuente: Overview of the EU-27 building policies and programmes- WP5 ENTRANZE

Para el cálculo del consumo total de energía el documento finlandés establece sus propios factores de conversión para diferentes fuentes de energía.

| Fuente de energía | Factor de conversión |
|-------------------------|----------------------|
| Combustibles fósiles | 1,0 |
| Electricidad | 1,2 |
| Calefacción urbana | 0,5 |
| Refrigeración urbana | 0,28 |
| Combustibles renovables | 0,5 |

Tabla 12. Factores de conversión de energía primaria

Fuente: Concerted Action Energy Performance of Buildings.

Los cálculos para un rendimiento mínimo de energía en los edificios nuevos se basan en método de cálculo nacional que sigue los estándares CEN, a parte de este método se pueden utilizar otros métodos más detallados debiendo ser documentados para su revisión. Los valores máximos de energía primaria fijados en kWhE/m² son:

| Tipo de edificio | Máxima energía primaria consumida por año | |
|--------------------------|---|---------------------|
| | Área calentada neta | kWhE/m ² |
| Casa unifamiliar | < 150 m ² | 200 - 0,6* Anet |
| | 150m ² < Anet < 600 m ² | 116 - 0,4* Anet |
| | > 600 m ² | 92 |
| Vivienda | | 105 |
| Edificio de apartamentos | | 90 |
| Oficinas | | 100 |
| Hoteles | | 135 |
| Colegios | | 100 |
| Hospitales | | 320 |

Tabla 13. Valores máximos de consumo de energía primaria

Fuente: Concerted Action Energy Performance of Buildings.

A partir de los valores de máxima energía primaria por años de la Tabla 8 y los factores de conversión de la Tabla 7 se calcula el consumo máximo anual total.

Tras un estudio nacional entregado a la Comisión Europea en 2013 el nivel de coste óptimo es un 7% más eficiente para los requisitos establecidos tras la transposición de la Directiva 2010/31/UE que para los requisitos anteriores.

5.3.4 Italia

La implementación de la Directiva 2010/31/EU empezó en Italia en 2013 con la Ley 90/2013, en junio de 2015 un decreto interministerial completó la transposición fijando criterios para los nuevos edificios y estableciendo una definición propia para los edificios de consumo casi nulo. En Italia las regiones y las provincias tenían competencias en temas de energía hasta la implementación de la EPBD que produjo una armonización nacional.

El decreto de 2015 estableció una metodología actualizada de cálculo del rendimiento energético basada en el estándar nacional UNI/TS 11300 desarrollado a partir de los estándares CEN.

La cantidad anual de energía consumida se calcula mensualmente para cada servicio y se expresa en términos de energía primaria, de la misma forma se calcula la cantidad producida de energía renovable. Desde 2012 es obligatorio cubrir el 20% de los usos de energía térmica con sistemas RES e instalar 1 kW se sistemas eléctricos renovables por cada 80 m² de superficie (Ezilda Costanzo).

Este decreto definió nuevos requisitos de eficiencia energética basados en la metodología de rentabilidad óptima presentada en la Directiva 2010/31/UE.

Para calcular estas cantidades de energía los factores de conversión de energía entregada en primaria son (Ezilda Costanzo):

| Portador de energía | $f_{p,nren}$ | $f_{p,ren}$ | $f_{p,tot}$ |
|---|--------------|-------------|-------------|
| Gas natural | 1,05 | 0 | 1,05 |
| Diesel | 1,07 | 0 | 1,05 |
| Carbón | 1,1 | 0 | 1,07 |
| Bio combustible sólido | 0,2 | 0,8 | 1 |
| bio combustible líquido y gaseoso | 0,4 | 0,6 | 1 |
| Electricidad | 1,95 | 0,47 | 2,42 |
| Calefacción urbana | 1,5 | 0 | 1,5 |
| Refrigeración urbana | 0,5 | 0,2 | 0,5 |
| Colectores solares para calefacción | 0 | 1 | 1 |
| Electricidad producida por placas fotovoltaicas | 0 | 1 | 1 |
| Pequeños aerogeneradores | 0 | 1 | 1 |
| Energía geotérmica | 0 | 1 | 1 |

Tabla 14. Factores de conversión de energía primaria de Italia.

Fuente: Concerted Action Energy Performance of Buildings.

La nueva legislación requiere que se calculen los siguientes parámetros energéticos (Ezilda Costanzo):

- Se mida la energía específica necesaria para calefacción, aire acondicionado y agua caliente.
- Los índices de rendimiento energético para calefacción, refrigeración, agua caliente sanitaria, ventilación, iluminación y transporte (kWhE/m²)..
- El índice de rendimiento energético global expresado en términos de energía primaria no renovable y total (kWhE/m²).

Los requerimientos de aislamiento térmico para los diferentes elementos del edificio son (Ezilda Costanzo):

| Componentes del edificio | U-valores [W/m ² K] | | | | |
|--|--------------------------------|------|------|------|------|
| | Zonas climáticas | | | | |
| | A y B | | D | E | F |
| Paredes | 0.38 | 0.32 | 0.28 | 0.24 | 0.22 |
| Techos | 0.34 | 0.34 | 0.24 | 0.22 | 0.20 |
| Suelos | 0.42 | 0.36 | 0.28 | 0.26 | 0.24 |
| Puertas, ventanas y contra ventanas | 3.00 | 2.20 | 1.80 | 1.40 | 1.10 |
| Tabiques interiores | 0.80 | 0.80 | 0.80 | 0.80 | 0.80 |
| Ventanas con dispositivos de sombreado | 0.35 | | | | |

Tabla 14. Requisitos de transmitancia térmica en Italia

Fuente: Overview of the EU-27 building policies and programmes- WP5 ENTRANZE

En Italia existe 6 zonas climáticas distintas, estas zonas son una porción del territorio que comparten las mismas características climáticas que hacen que los edificios tengan unas características acordes al lugar para cumplir los requisitos de confort térmico. Las zonas climáticas de Italia son (Luce-gas):

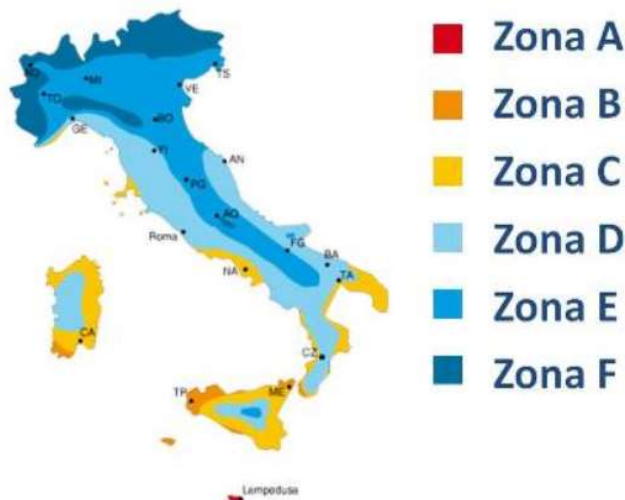


Figura 15. Mapa de zonas climáticas Italia

Fuente: Luce-gas.it

En 2015 el gobierno italiano publicó el plan nacional de nZEB, llamado PANZEB, para apoyar la renovación de edificios existentes y nuevas construcciones. Entre las medidas de este plan se encuentran (Ezilda Costanzo):

- Endurecimiento progresivo de las normas mínimas de edificación. En 2016 las normas mínimas eran un 15% más rigurosas que en años anteriores.
- Incentivos para nuevos edificios privados en términos de reducción de carga fiscal tanto a nivel regional como nacional.
- En los nuevos edificios públicos será un 10% mayor la utilización de sistemas RES para cubrir los requisitos de energía térmica que en los edificios privados.

5.3.5 Austria

En Austria la implementación de la Directiva 2010/31/EU se asignó al Instituto Austriaco de Ingeniería de la Construcción (OIB) el resultado fue la Directiva OIB que fue publicada en marzo de 2015

Los requisitos de demanda de energía primaria máxima fijados por la Directiva OIB han ido evolucionando y volviéndose más restrictivos con el paso de los años, se pueden diferenciar entre los edificios de uso residencial y los edificios de uso no residencial (Naghmeh Altmann Mavaddat).

| Año | Edificio nuevo residencial | | Edificio nuevo no residencial | |
|------|--|-------------------------------|--|-------------------------------|
| | Demanda de energía primaria [kWh/m ² . año] | CO2 [kg/m ² . año] | Demanda de energía primaria [kWh/m ² . año] | CO2 [kg/m ² . año] |
| 2014 | 190 | 30 | 230 | 36 |
| 2016 | 180 | 28 | 210 | 33 |
| 2018 | 170 | 26 | 190 | 30 |
| 2020 | 160 | 24 | 170 | 27 |

Tabla 15. Requisitos demanda de energía Austria

Fuente: Concerted Action Energy Performance of Buildings.

La metodología de cálculo de la eficiencia energética fijada en la Directiva OIB está basada en el estándar austriaco ÖNORM, creado por el instituto austriaco de estándares el cual está representado en CEN por lo tanto los estándares están de acuerdo con el Comité Europeo de Normalización.

Los principales indicadores del rendimiento energético como la demanda de calefacción, energía útil, demanda de energía final, demanda de energía primaria, valores de U máximo y factores de conversión se encuentran en el capítulo 6 de la Directiva OIB.

Los valores máximos de transmitancia térmica permitidos para los distintos elementos de un edificio son:

| Componentes del edificio | | U-value [W/m ² K] | U-value [W/m ² K] | | | | | | | | | |
|--------------------------|--|---------------------------------|---------------------------------|------|------------------------|------|----------|------|----------|------|------------|------|
| | | | Vivienda unifamiliar | | Vivienda multifamiliar | | Oficinas | | Colegios | | Hospitales | |
| | | | Nueva | Ren | Nueva | Ren | Nueva | Ren | Nueva | Ren | Nueva | Ren |
| Paredes | Paredes exteriores | 0,35 | 0,35 | 0,35 | 0,35 | 0,35 | 0,35 | 0,35 | 0,35 | 0,35 | 0,35 | 0,35 |
| | Pared interna entre vivienda residencial y no residencial | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 |
| | Pared interna de áreas no acondicionadas (excepto ático) | 0,60 | 0,60 | 0,60 | 0,60 | 0,60 | 0,60 | 0,60 | 0,60 | 0,60 | 0,60 | 0,60 |
| | Paredes no acondicionadas ático | 0,35 | 0,35 | 0,35 | 0,35 | 0,35 | 0,35 | 0,35 | 0,35 | 0,35 | 0,35 | 0,35 |
| | Muros a otros edificios | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 |
| | Paredes y sótano en contacto con el suelo | 0,40 | 0,40 | 0,40 | 0,40 | 0,40 | 0,40 | 0,40 | 0,40 | 0,40 | 0,40 | 0,40 |
| Ventanas | Ventanas | 1,40 | 1,40 | 1,40 | 1,40 | 1,40 | 1,40 | 1,40 | 1,40 | 1,40 | 1,40 | 1,40 |
| | Otras ventanas y puertas | 1,70 | 1,70 | 1,70 | 1,70 | 1,70 | 1,70 | 1,70 | 1,70 | 1,70 | 1,70 | 1,70 |
| | Ventanas del techo | 1,70 | 1,70 | 1,70 | 1,70 | 1,70 | 1,70 | 1,70 | 1,70 | 1,70 | 1,70 | 1,70 |
| | Otros componentes extremos transparentes horizontales o inclinados | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 2,00 |
| Techos | Roof | 0,20 | 0,20 | 0,20 | 0,20 | 0,20 | 0,20 | 0,20 | 0,20 | 0,20 | 0,20 | 0,20 |
| | Techo interno a áreas no acondicionadas | 0,40 | 0,40 | 0,40 | 0,40 | 0,40 | 0,40 | 0,40 | 0,40 | 0,40 | 0,40 | 0,40 |
| | Techo interior entre vivienda residencial y no residencial | 0,90 | 0,90 | 0,90 | 0,90 | 0,90 | 0,90 | 0,90 | 0,90 | 0,90 | 0,90 | 0,90 |
| Suelos | En contacto con la tierra | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 |

Tabla 17. Valores máximos de transmitancias térmicas

Fuente: Overview of the EU-27 building policies and programmes- WP5 ENTRANZE.

Los factores de conversión para el cálculo de la demanda energética fijados en este documento son (Naghmeh Altmann Mavaddat):

| Fuente de energía | $F_{PE,no\ renov}$ | $F_{PE,renv}$ | F_{CO2} [g/kWh] |
|---|--------------------|---------------|----------------------|
| Carbón | 1.46 | 0.00 | 337 |
| Combustibles fósiles | 1.23 | 0.00 | 311 |
| Gas natural | 1.17 | 0.00 | 236 |
| Biomasa | 0.06 | 1.02 | 4 |
| Calefacción urbana por fuentes renovables | 0.28 | 1.32 | 51 |
| Calefacción urbana por combustibles fósiles | 1.38 | 0.14 | 291 |
| Calefacción urbana por cogeneración | 0.19 | 0.75 | 28 |
| Energía producida por incineración | 1.00 | 0.00 | 20 |

Tabla 16. Factores de conversión Austria

Fuente: Concerted Action Energy Performance of Buildings.

Para cumplir los requisitos europeos la Directiva OIB 6 se basa en asegurar una envolvente ajustada a cada edificio para reducir así la demanda de calefacción y mediante la instalación de sistemas de calefacción muy eficientes (con un alto factor de eficiencia energética total) o renovables.

5.3.6 España

El código técnico de edificación es el documento donde se recogen las normas y los requisitos que deben cumplir los edificios respecto a habitabilidad y la seguridad establecidos en la Ley 38/1999, Ley de Ordenación de la Edificación (LEO).

Los objetivos principales del código técnico son garantizar y mejorar la protección del usuario a la vez que mejora la calidad de la edificación y fomenta una construcción sostenible.

La publicación de este documento se produjo en el año 2006, desde esta fecha el documento ha sido modificado y actualizado en repetidas ocasiones para dar respuesta a los nuevos retos constructivos y recoger las transposiciones de las directivas europeas. La última modificación se aprobó el 20 de diciembre por el Decreto 732/2019 en Consejo de Ministros. En esta última modificación se incorpora el Documento Básico de Ahorro de Energía y una nueva sección dedicada a la protección de los edificios frente al gas radón en el Documento Básico de Salubridad.

El código técnico de edificación está formado por dos bloques. El primer bloque se tratan aspectos de seguridad constructiva y habitabilidad según los requisitos de la Ley de Ordenación de la edificación, a su vez esta parte esta subdividida en secciones que tratan aspectos de seguridad estructural, seguridad en caso de incendios, seguridad de utilización, salubridad, protección frente al ruido y el ahorro de energía. El segundo bloque está compuesto de Documentos Básicos que son

textos que se encargan de dar un soporte práctico a los requisitos del primer bloque. En este segundo bloque se encuentra el Documento Básico de Ahorro de energía y los documentos de apoyo que le acompañan.

En el CTE se define como edificio de consumo de energía casi nulo como *“aquel edificio, nuevo o existente, que cumple con las exigencias reglamentarias establecidas en este Documento Básico “DB HE Ahorro de Energía” en lo referente a la limitación de consumo energético para edificios de nueva construcción”*.

Este documento básico DB HE está compuesto por seis documentos de apoyo, HE0 (Limitación del consumo energético), HE1 (Condiciones para el control de la demanda energética), HE2 (Condiciones de las instalaciones térmicas), HE3 (Condiciones de las instalaciones de iluminación), HE4 (Contribución mínima de energía renovable para cubrir la demanda de agua caliente sanitaria), HE5 (Generación mínima de energía eléctrica). Estos documentos se complementan entre ellos y no siguen un orden numérico es el estudio energético y diseño de un edificio.

Para alcanzar el objetivo de ahorro de energía es necesario que disminuya el consumo y la demanda energética, para ello hay que seguir un método de cálculo definido y una serie de estándares y requisitos de cumplimiento para que el consumo sea el menor posible.

El consumo energético es la energía que es necesaria suministrar a los sistemas (calefacción, refrigeración, ventilación, etc.) para que cumplan unos requerimientos dados. El consumo se expresa en $kW * h/m^2 * año$. Para conocer el consumo energético de un edificio primero es necesario calcular la demanda de energía que necesita, esto es la energía útil necesaria que hay que proporcionar a los sistemas para que se cumplan unas condiciones de confort definidas.

La demanda energética global de un edificio se puede calcular de forma general como las pérdidas totales menos las ganancias totales. Estas pérdidas y ganancias que estudiamos para calcular la demanda energética se producen debido a los elementos pasivos del edificio, es decir, sin tener en cuenta los sistemas energéticos que serán elegidos posteriormente dependiendo de la demanda.

Las pérdidas de energía en un edificio se producirán principalmente por ventilación y por transmisión que estudiaremos sus requisitos más adelante. Las ganancias que se producen en un edificio son debidas a las solicitaciones exteriores como son la incidencia de la radiación solar y las acciones del clima y a las solicitaciones interiores que son las cargas internas producidas.

Una vez calculada la demanda energética como el balance energético entre las pérdidas y las ganancias, se integran unos sistemas que cubran lo más eficientemente posible la demanda energética del edificio. Por lo tanto, los aspectos que hay que tener en cuenta para el cálculo desglosado del consumo energético de energía final son:

- Zona climática, orientación y diseño.

- La evolución de los procesos térmicos.
- Las pérdidas por transmisión entre el edificio y zonas adyacentes.
- Las solicitaciones interiores y exteriores.
- Las pérdidas y las ganancias producidas a través de la envolvente, los puentes térmicos, ventanas, huecos y características de los materiales.
- Las pérdidas y ganancias producidas por radiación solar.
- Las pérdidas y ganancias producidas por ventilación e infiltraciones.
- La energía necesaria para los sistemas de calefacción, refrigeración, ventilación, ACS, regulación de humedad y en edificios no residenciales la iluminación.
- El rendimiento y dimensionado de los sistemas anteriores que integren el edificio.
- La energía renovable aportada por producción en el sistema de estudio (edificio) o cerca de él.
- La energía no renovable aportada al edificio.
- Los coeficientes de paso a energía primaria de diferentes fuentes de energía final.

Se establecen unos límites de consumo energético en función de la zona climática divididos según la energía primaria sea renovable o no renovable.

La aplicación de los límites de consumo tendrá aplicación en edificios de nueva construcción, en ampliaciones donde se incremente un 10% el volumen existente o cuando la superficie ampliada supere los 50 m², cambios de uso cuando la superficie total supere los 50 m², reformas donde se renueve más del 25% de la envolvente térmica y los sistemas térmicos.

El valor límite de consumo de energía primaria no renovable ($kW * h/m^2 * año$) para uso residencial privado es:

| | Zona climática de invierno | | | | | |
|--|----------------------------|----|----|----|----|----|
| | α | A | B | C | D | E |
| Edificios nuevos y ampliaciones | 20 | 25 | 28 | 32 | 38 | 43 |
| Cambios de uso a residencial privado y reformas | 40 | 50 | 55 | 65 | 70 | 80 |

Tabla 18. Valor límite $C_{ep,nren,lim}$ para uso residencial privado.

Fuente: CTE DB-HE

El valor límite de consumo de energía primaria no renovable ($kW * h/m^2 * año$) para uso residencial privado es:

| | Zona climática de invierno | | | | | |
|--|----------------------------|----|----|----|-----|-----|
| | α | A | B | C | D | E |
| Edificios nuevos y ampliaciones | 40 | 50 | 56 | 64 | 76 | 86 |
| Cambios de uso a residencial privado y reformas | 55 | 75 | 80 | 90 | 105 | 115 |

Tabla 19. Valor límite $C_{ep,tot}$ para uso residencial privado.

Fuente: CTE DB-HE

Para hacer frente a la demanda energética del edificio se necesita energía primaria que puede proceder de fuentes renovables o no renovables. Esta energía primaria tiene un coeficiente de paso a energía final tabulado por el ministerio (Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico, s.f.)

| Factores de conversión de energía final primaria | | | |
|--|--------------|-------------|-------------|
| | $f_{p,nren}$ | $f_{p,ren}$ | $f_{p,tot}$ |
| Electricidad convencional Nacional | 0,396 | 2,007 | 2,403 |
| Electricidad convencional peninsular | 0,414 | 1,954 | 2,368 |
| Electricidad convencional extrapeninsular | 0,075 | 2,937 | 3,011 |
| Electricidad convencional Baleares | 0,082 | 2,968 | 3,049 |
| Electricidad convencional Canarias | 0,07 | 2,924 | 2,994 |
| Electricidad convencional Ceuta y Melilla | 0,072 | 2,718 | 2,79 |
| Gas calefacción | 0,003 | 1,179 | 1,182 |
| GLP | 0,003 | 1,201 | 1,204 |
| Gas natural | 0,005 | 1,19 | 1,195 |
| Carbón | 0,002 | 1,082 | 1,084 |
| Biomasa no densificada | 1,003 | 0,034 | 1,037 |
| Biomasa densificada (pelets) | 1,028 | 0,085 | 1,113 |

Tabla 20. Factores de conversión de energía España

Fuente: Factores de emisión de CO_2 y coeficientes de paso a energía primaria de diferentes fuentes de energía final consumidas en el sector de edificios en España.

Respecto a la envolvente térmica el Código Técnico la define como la parte del edificio que se encuentra en contacto con el aire exterior, con el terreno, con otro edificio y con particiones interiores que no son habitables. Está compuesta por todos los cerramientos, cubiertas, particiones internas y puentes térmicos. El código técnico permite que se incluyan en la envolvente espacios no habitables como pueden ser un bajo comercial, un garaje o un trastero y que se excluyan espacios habitables no acondicionados como pueden ser escaleras, ascensores y zonas comunes.

La forma de estudiar la eficacia de la envolvente térmica es conociendo la transmitancia térmica (U) de cada elemento del edificio. La transmitancia térmica es una medida de la cantidad de energía que atraviesa una determinada superficie

en una unidad de tiempo. La unidad de medida de la transmitancia térmica es $W/K m^2$ y su expresión es:

$$U = \frac{1}{R_T}$$

- R_T : es la resistencia total del componente constructivo $m^2 * K/W$

La expresión de una capa térmicamente homogénea es:

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

- e : es el espesor de la capa en metros.
- λ : es la conductividad térmica del material del que está compuesta la capa.

La resistencia térmica total de una capa constituida por varias subcapas de distinta resistencia es igual a la suma de todas ellas:

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

- R_1, R_2, R_n : son las resistencias térmicas de cada capa.
- R_{si} , R_{se} : son las resistencias térmicas de las capas superficiales en contacto con el aire exterior. Sus valores están tabulados según el sentido del flujo de calor.

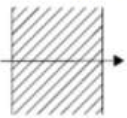

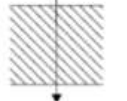
| Posición del cerramiento y sentido del flujo de calor | | R_{se} | R_{si} |
|--|---|----------|----------|
| Cerramientos verticales o con pendiente sobre la horizontal $>60^\circ$ y flujo horizontal |  | 0,04 | 0,13 |
| Cerramientos horizontales o con pendiente sobre la horizontal $\leq 60^\circ$ y flujo ascendente (techo) |  | 0,04 | 0,10 |
| Cerramientos horizontales y flujo descendente (suelo) |  | 0,04 | 0,17 |

Tabla 21. Resistencias térmicas superficiales de cerramientos en contacto con el aire exterior.

Fuente: CTE DB-HE

Los valores límite que establece el código técnico son:

| Elemento | Zona climática de invierno | | | | | |
|---|----------------------------|------|------|------|------|------|
| | α | A | B | C | D | E |
| Muros y suelos en contacto con el aire exterior (U_s, U_M) | 0,80 | 0,70 | 0,56 | 0,49 | 0,41 | 0,37 |
| Cubiertas en contacto con el aire exterior (U_c) | 0,55 | 0,50 | 0,44 | 0,40 | 0,35 | 0,33 |
| Muros, suelos y cubiertas en contacto con espacios no habitables o con el terreno (U_T) Medianerías o particiones interiores pertenecientes a la envolvente térmica (U_{MD}) | 0,90 | 0,80 | 0,75 | 0,70 | 0,65 | 0,59 |
| Huecos (conjunto de marco, vidrio y, en su caso, cajón de persiana) (U_H)* | 3,2 | 2,7 | 2,3 | 2,1 | 1,8 | 1,80 |
| Puertas con superficie semitransparente igual o inferior al 50% | | | 5,7 | | | |

* Los huecos con uso de escaparate para actividad comercial pueden ampliar el valor de U_H en un 50%.

Tabla 22. Valores límite de transmitancia térmica.

Fuente: CTE DB-HE

Estos valores límite aseguran una calidad mínima global de la envolvente, esto no significa que con estos valores de transmitancia se cumpla un nivel de demanda adecuado, este solo se cumple con el adecuado coeficiente global de transmisión de calor.

Aparte de estos valores límite, en el Anejo E se dan unos valores de transmitancia orientativos para ayudar a cumplir el nivel de demanda adecuado, estos son:

| | Zona Climática de invierno | | | | | |
|--|----------------------------|------|------|------|------|------|
| | α | A | B | C | D | E |
| Muros y suelos en contacto con el aire exterior, U_M, U_s | 0,56 | 0,50 | 0,38 | 0,29 | 0,27 | 0,23 |
| Cubiertas en contacto con el aire exterior, U_c | 0,50 | 0,44 | 0,33 | 0,23 | 0,22 | 0,19 |
| Elementos en contacto con espacios no habitables o con el terreno, U_T | 0,80 | 0,80 | 0,69 | 0,48 | 0,48 | 0,48 |
| Huecos (conjunto de marco, vidrio y, en su caso, cajón de persiana), U_H | 2,7 | 2,7 | 2,0 | 2,0 | 1,6 | 1,5 |

Tabla 23. Valores orientativos de transmitancia térmica del elemento.

Fuente: CTE DB-HE

Las particiones interiores que son los elementos que separan distintos espacios del interior del edificio también tienen su valor límite de transmitancia térmica dependiendo del uso de las zonas que separen.

| | Tipo de elemento | Zona climática de invierno | | | | | |
|---|---------------------------------------|----------------------------|------|------|------|------|------|
| | | α | A | B | C | D | E |
| Entre unidades del mismo uso | Particiones horizontales | 1,90 | 1,80 | 1,55 | 1,35 | 1,20 | 1,00 |
| | Particiones verticales | 1,40 | 1,40 | 1,20 | 1,20 | 1,20 | 1,00 |
| Entre unidades de distinto uso Entre unidades de uso y zonas comunes | Particiones horizontales y verticales | 1,35 | 1,25 | 1,10 | 0,95 | 0,85 | 0,70 |

Tabla 24. Valores de transmitancia térmica límite de particiones interiores.

Fuente: CTE DB-HE

Para que se cumpla un nivel de demanda adecuado el código técnico establece unos niveles límite de coeficiente global de transmisión de calor a través de la envolvente (K), sus unidades son $W/m^2 * K$. La expresión de este coeficiente es:

$$K = \sum X H_x / A_{int}$$

- H_x : es el coeficiente de transferencia de calor de la parte de la envolvente incluyendo los puentes térmicos.
- A_{int} : es el área de intercambio de los componentes considerados. Se excluye las áreas en contacto con otros edificios o espacios adyacentes exteriores a la envolvente.

Para conocer los valores de límite de coeficiente global de transmisión de calor antes tenemos que conocer la compacidad de nuestro edificio. La compacidad es la relación entre el volumen del edificio y las sumas de las áreas de la envolvente por lo que podemos afirmar que a mayor volumen, mayor compacidad y menores pérdidas.

Los valores límites para el coeficiente global de transmisión de calor según la zona climática y la compacidad son:

| | Compacidad $V/A [m^3/m^2]$ | Zona climática de invierno | | | | | |
|--|-------------------------------|----------------------------|------|------|------|------|------|
| | | α | A | B | C | D | E |
| Edificios nuevos y ampliaciones | $V/A \leq 1$ | 0,67 | 0,60 | 0,58 | 0,53 | 0,48 | 0,43 |
| | $V/A \geq 4$ | 0,86 | 0,80 | 0,77 | 0,72 | 0,67 | 0,62 |
| Cambios de uso. Reformas en las que se renueve más del 25% de la superficie total de la envolvente térmica final del edificio | $V/A \leq 1$ | 1,00 | 0,87 | 0,83 | 0,73 | 0,63 | 0,54 |
| | $V/A \geq 4$ | 1,07 | 0,94 | 0,90 | 0,81 | 0,70 | 0,62 |

Tabla 25. Valores límite de coeficiente global de transmisión de calor.

Fuente: CTE DB-HE

6. OTROS ESTÁNDARES SOBRE EDIFICIOS DE CONSUMO DE ENERGÍA CASI NULO

El termino estándar se define como aquello que puede tomarse como modelo, tipo, patrón o referencia. En el proceso constructivo de edificios de consumo de energía casi nulo existen una serie de estándares con unos requerimientos específicos cada uno.

En este apartado se expondrán los principales requerimientos y principios de tres estándares de origen europeo, Passive House, Minergie y EPBD.

6.1 Passive House

Un casa pasiva o passive house es un edificio que cumple los requerimientos de confort térmico marcados en la norma ISO 7730 mediante el calentamiento o enfriamiento de un flujo de aire requerido para una calidad de aire determinada en la norma DIN 1946, relativa a las renovaciones por hora según la actividad de un local, sin utilizar flujo de aire adicional (Passipedia, s.f.).

La definición de passive house se caracteriza por tener una utilidad eminentemente práctica y que se aplica a todo tipo de climas y geografías.

Los requerimientos globales que establece passive house son (Passipedia, s.f.):

- La demanda de energía primaria no debe exceder los 120 kWh/m²a para todas las aplicaciones domésticas.
- Hermeticidad máxima de 0.6 cambios de aire por hora a una presión de 50 Pascales.
- Para el confort térmico debe cumplirse que en todas las áreas de la vivienda durante todo el año no se superen el 10% de horas por encima de 25 ° C
- La demanda de carga térmica de calefacción es de 10 W/m² independientemente del clima.

Se calcula mediante la norma DIN 1946.

$$30 \text{ m}^3/\text{h} / \text{pers} \cdot 0.33 \text{ Wh} / (\text{m}^3\text{K}) \cdot (50 - 20) \text{ K} = 300 \text{ W} / \text{pers}$$

Donde 30 m³/h / pers es el flujo mínimo de aire para una persona, 0.33 Wh / (m³K) es la capacidad calorífica del aire a presión normal y a 20 ° C, 50 ° C es la temperatura máxima hasta la que se puede calentar el aire sin que el polvo se obstruyera y estableciendo 30 m² de espacio habitable por persona.

Sin embargo, el consumo energético anual (kWh/m² * a) sí depende del clima, teniendo un máximo de demanda energética anual para cada clima.

| Zonas climáticas | Heating | Cooling |
|------------------|-------------|-------------|
| | [kWh/(m²a)] | [kWh/(m²a)] |
| Polar | 35 | - |
| Frío | 30 | - |
| Frío-templado | 25 | 15 |
| Cálido-templado | 20 | 20 |
| Cálido | 15 | 25 |
| Caluroso | - | 30 |
| Muy caluroso | - | 35 |

Tabla 3. Zonas climáticas Passive House

Fuente: "Criteria for the Passive House, EnerPHit and PHI Low Energy Building Standard"

- La demanda de aire acondicionado es aproximadamente la misma demanda energética que de calefacción con un subsidio adicional dependiente de la deshumidificación.
- Que cumpla los valores máximos de transmitancia térmica de la envolvente.

| Zona climática | Envolvente opaca respecto al... | | |
|-----------------|--|---------------------------------|---------------------------------|
| | Aislamiento | ...contacto con el suelo | |
| | | Aislamiento exterior W/(m²K) | Aislamiento interior W/(m²K) |
| 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 |

Tabla 4. Transmitancias térmicas Passive House

Fuente: "Criterios y algoritmos para componentes certificados Passivhaus: Sistemas constructivos opacos"

Las zonas climáticas del estándar passive house son:

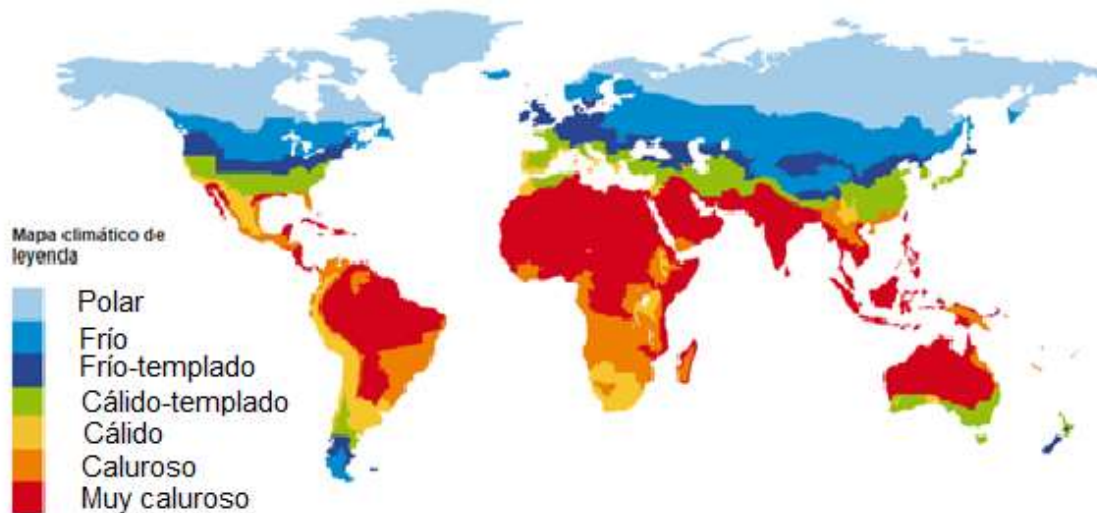


Figura 13. Mapa zonas climáticas Passive House

Fuente: Criterios y algoritmos para componentes certificados Passivhaus: Sistemas constructivos opacos

Dentro del estándar passive house podemos encontrar tres categorías según la demanda de energía primaria de origen renovable y de la generación de energía renovable. Estas categorías son:

- Classic: Demanda de energía primaria renovable inferior a $60 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ y generación nula de energía renovable en el edificio.
- Plus: Demanda de energía primaria renovable inferior a $45 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ y generación de energía renovable en el edificio superior a $60 \text{ kWh/m}^2\text{a}$.
- Plus: Demanda de energía primaria renovable inferior a $30 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ y generación de energía renovable en el edificio superior a $120 \text{ kWh/m}^2\text{a}$.

6.2 ASHRAE

ASHRAE es el acrónimo de “Sociedad Americana de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado (American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning)”. Esta sociedad fue fundada en 1894 en Estados Unidos, a día de hoy es una sociedad global que busca promover el bienestar del ser humano y crear un entorno sostenible a través de la tecnología. Para ello han creado una serie de estándares y normas que regulan los requerimientos constructivos y sistemas técnicos de los edificios, en este apartado se estudiará el “ Standard 90.1-2016 Energy Standard for Building Except Low-Rise Residential Buildings ” (ASHRAE, s.f.) relativo a los requerimientos energéticos de los edificios excepto de las viviendas de planta baja.

Este estándar proporciona los requisitos mínimos para el diseño de edificios de consumo casi nulo, a diferencia de otros estándares como passive house, este estándar no aporta los valores máximos de demanda energética anual o de energía

primaria anual, sino que aporta los requisitos de diseño de los equipos HVAC (bombas de calor, aire acondicionado, ventilación, calderas, sistemas de refrigeración), los requisitos de sistemas de agua caliente sanitaria y los requisitos de potencia para la iluminación interior y exterior para que estos sistemas sean los más eficientes posibles para el edificio proyectado . En cambio, este documento si proporciona requisitos térmicos para la envolvente, los valores máximos de transmitancia térmica para muros y paredes, cubiertas y ventanas son:

| 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 |

Tabla 5. Transmitancias térmicas ASHRAE

Fuente: www.ashrae.org

Estos valores están divididos según las zonas climáticas globales que define el estándar ASHRAE.

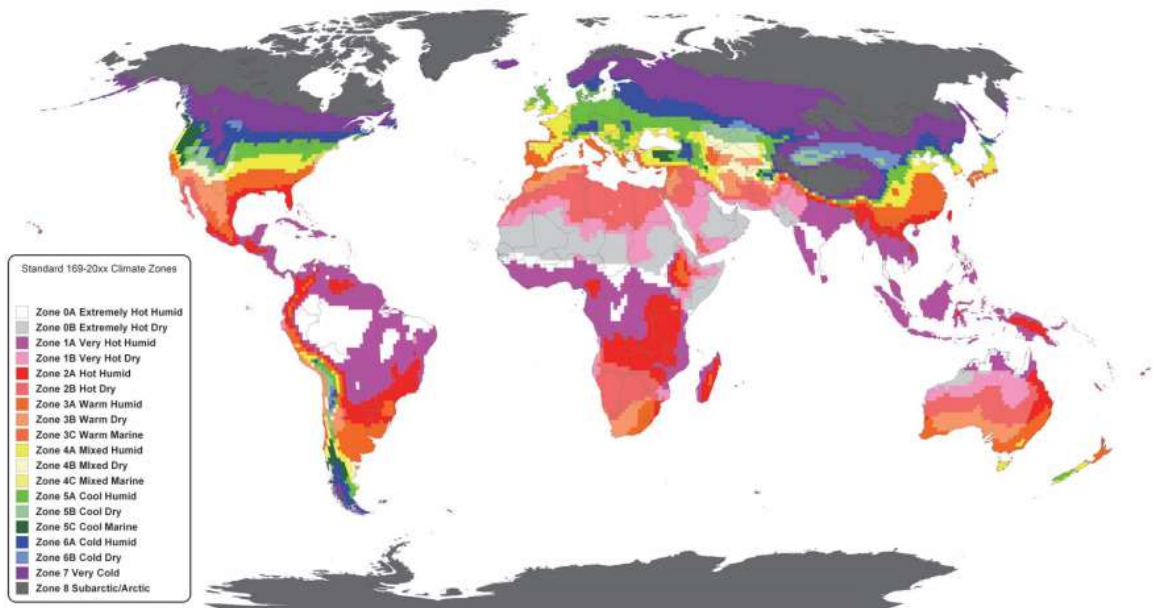


Figura 14. Mapa zonas climáticas ASHRAE

Fuente: www.ashrae.org.

7. ANÁLISIS COMPARATIVO REQUERIMIENTOS DE AISLAMIENTO TÉRMICO.

Como se ha visto, la envolvente es uno de los elementos más importantes a tener en cuenta para conseguir un consumo energético casi nulo. Los factores más influyentes en la capa térmica son la transmitancia térmica de los materiales, la conductividad térmica de estos y el espesor. Cada estándar aporta unos valores máximos permitidos de transmitancia térmica para los diferentes elementos de la envolvente, estos valores máximos dependen generalmente del clima de la zona donde se va a realizar el proyecto.

Para analizar los espesores mínimos requeridos por los estándares y posteriormente el espesor óptimo se va a analizar una fachada de referencia de un edificio de uso residencial en Murcia. Esta fachada tiene un área de $171,4 \text{ m}^2$

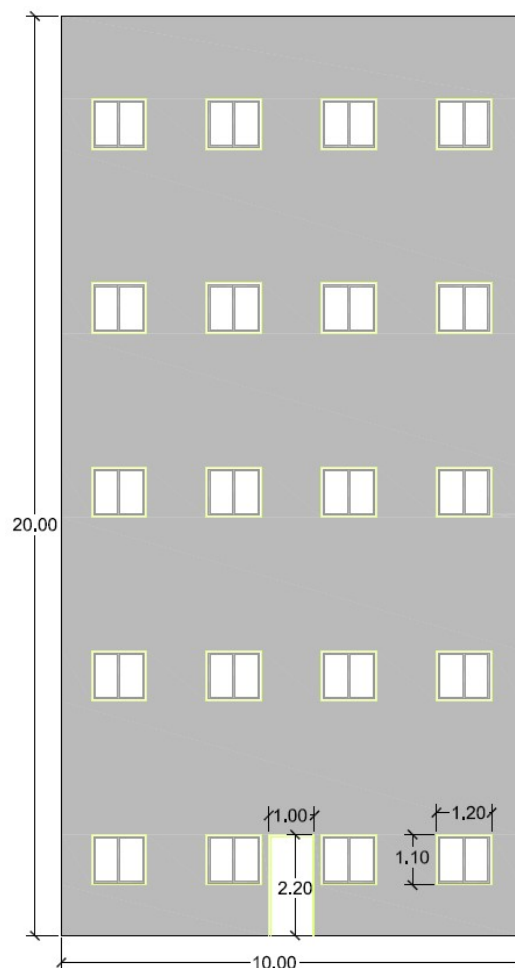


Figura 16. Fachada de referencia

Fuente: propia

El tipo de fachada a analizar es una fachada vista, ventilada, con aislamiento por el interior.

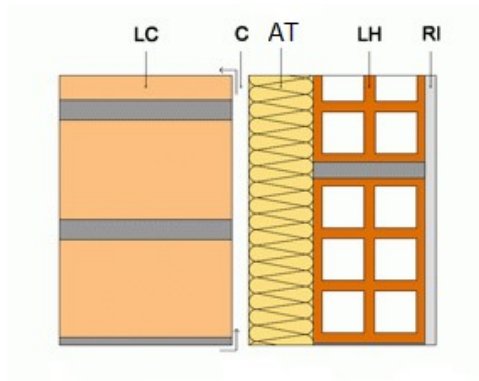


Figura 17. Fachada vista, ventilada, con aislamiento por el interior.

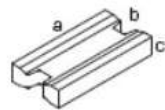
Fuente: Isover

Donde:

- LC: Ladrillo cerámico.
- C: Cámara de aire no ventilada.
- AT: Aislante térmico.
- LH: Ladrillo hueco.
- RI: Revestimiento interior.

- Ladrillo cerámico

Se va a escoger un ladrillo cerámico de la empresa Malpesa con las siguientes características técnicas (Malpesa , s.f.)



| | Soga (a) | Tizón (b) | Grueso (c) |
|---|-------------------------|-----------|------------|
| ■ Medidas: | 24.0 cm | 12.0 cm | 5.0 cm |
| ■ Acabado: Liso | | | |
| ■ Peso aproximado: 2,60 Kg. | | | |
| ■ Absorción de agua: | ≤ 6 % | | |
| ■ Succión, Kg / (m ² -min) | ≤ 0,6 | | |
| ■ Rest. carac. norm. a compresión: | ≥40,0 N/mm ² | | |
| ■ Durabilidad (Heladicidad) | F2 | | |
| ■ Propiedades térmicas (λ _{eq}) | 0,67 W/mK | | |
| ■ Expansión por humedad | ≤ 0,55 mm/m | | |
| ■ Reacción al fuego | Clase A1 | | |

Figura 18. Ladrillo cerámico.

Fuente: Malpesa.

- Cámara de aire no ventilada.

Se va a escoger un espesor de 3 cm para la cámara de aire.

El aire tiene una conductividad térmica de 0,024 W/m·k.

- Aislante térmico.

El material que se va a utilizar para realizar el análisis es lana de roca que tiene una conductividad térmica de 0,034 W/m·k (Isover Saint-Gobain, s.f.).

Sistema Ecosec Fachadas Acustilaine 70

Panel rígido de lana de roca ISOVER, no hidrófilo, sin revestimiento.



Propiedades Técnicas

| | Símbolo | Unidades | Valor | Norma |
|---------------------------------|-------------|----------|-------|-------------------|
| Conductividad térmica declarada | λ_D | W/m·k | 0,034 | EN 12667 EN 12939 |

Figura 19. Coeficiente de conductividad térmica de lana de roca.

Fuente: Isover.

- Ladrillo hueco.

Se va a escoger un ladrillo de hueco doble de la empresa Cerámica Sampedro con las siguientes características técnicas (Cerámica Sampedro, s.f.)

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

| Parámetro | Símbolo | Valor | | Unidades | Norma y aclaraciones |
|------------------------------|-----------|---------|---------|--------------------|--|
| | | 1/2 pie | tabicón | | |
| Resistencia a compresión | f_b | 2,5 | 2,5 | N/mm ² | DB-SE Seguridad Estructural |
| Reacción al fuego | - | A1 | A1 | - | DB-SI Seguridad en caso de incendio Valores obtenidos de la tabla F1 del Anejo F del DB-SI (1) Enfoscado en ambas caras con 1,5 cm de mortero. (2) Guarnecido en ambas caras con 1,5 cm de yeso. |
| Resistencia al fuego (1) | - | EI 120 | EI 90 | - | |
| Resistencia al fuego (2) | - | EI 240 | EI 180 | - | |
| Aislamiento acústico | $R_{a,m}$ | 39,80 | 37,75 | dBA | DB-HR Protección frente al Ruido Valores obtenidos mediante cálculo con la Herramienta Silensis. Guarnecido ambas caras con 1,5 cm de yeso |
| | | 123,20 | 102,82 | Kg/m ² | |
| Resistencia térmica del muro | R | 0,230 | 0,160 | m ² K/W | DB-HR Ahorro de Energía Valores obtenidos del Catálogo de Elementos Constructivos del CTE Guarnecido en ambas caras con 1,5 cm de yeso. |



Figura 20. Ladrillo hueco

Fuente: Cerámicas Sampedro

- Revestimiento interior.

El revestimiento interior se va a realizar con una capa de 15 mm de yeso con una conductividad térmica de 0,56 W/m·k (Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja y el ICCL, Instituto de la Construcción de Castilla y León., s.f.)

| Materiales | ρ | λ | C_p | μ |
|------------|-----------|-----------|-------|-------|
| Genérico | 1200-1500 | 0.56 | 1000 | 4 |
| Genérico | 900-1200 | 0.43 | 1000 | 4 |

Figura 21. Coeficiente de conductividad térmica yeso

Fuente: Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja y el ICCL, Instituto de la Construcción de Castilla y León

- ASHRAE

El estándar ASHRAE divide los valores de transmitancias térmicas máximas según la zona climática. Para este estándar Murcia tiene una zona climática 3B.

| Country/LOCATION | WMO# | Lat | Long | CZ | Precipitation | |
|---------------------|--------|-------|--------|----|---------------|-----|
| | | | | | mm | in. |
| Spain (ESP) | | | | | | |
| ALBACETE/LOS LLANOS | 082800 | 38.95 | -1.85 | 4B | 357 | 14 |
| ALICANTE/EL ALTET | 083600 | 38.28 | -0.55 | 3B | 319 | 13 |
| ALMERIA/AEROPUERTO | 084870 | 36.85 | -2.38 | 3B | 200 | 8 |
| BARCELONA/AEROPUERT | 081810 | 41.28 | 2.07 | 3A | 623 | 25 |
| BILBAO/SONDICA | 080250 | 43.30 | -2.90 | 3A | 1231 | 48 |
| CACERES | 082610 | 39.47 | -6.33 | 3A | 569 | 22 |
| CIUDAD REAL | 083480 | 38.98 | -3.92 | 3B | 428 | 17 |
| COIMBRA/CERNACHE | 085480 | 40.15 | -8.47 | 3C | 998 | 39 |
| GERONA/COSTA BRAVA | 081840 | 41.90 | 2.77 | 3A | 727 | 29 |
| GRANADA/AEROPUERTO | 084190 | 37.18 | -3.78 | 3A | 507 | 20 |
| IBIZA/ES CODOLA | 083730 | 38.88 | 1.38 | 3B | 414 | 16 |
| LA CORUNA | 080010 | 43.37 | -8.42 | 3C | 1014 | 40 |
| LAS PALMAS DE GRAN | 600300 | 27.93 | -15.38 | 2B | 125 | 5 |
| LOGRONO/AGONCILLO | 080840 | 42.45 | -2.33 | 3A | 718 | 28 |
| MALAGA/AEROPUERTO | 084820 | 36.67 | -4.48 | 3A | 558 | 22 |
| MENORCA/MAHON | 083140 | 39.87 | 4.23 | 3A | 580 | 23 |
| MORON DE LA FRONTER | 083970 | 37.15 | -5.62 | 3A | 556 | 22 |
| MURCIA | 084300 | 38.00 | -1.17 | 3B | 283 | 11 |
| OVIEDO | 080150 | 43.35 | -5.87 | 4A | 1043 | 41 |
| PALMA DE MALLORCA/S | 083060 | 39.55 | 2.73 | 3A | 620 | 24 |
| ROTA NAS | 084490 | 36.65 | -6.35 | 3A | 535 | 21 |

Tabla 26. Zonas térmicas ASHRAE España

Fuente: www.ashrae.org

Para la fachada escogida el valor de transmitancia térmica máxima es de 0,104 W/m²K

| Zona climática | Muros | |
|----------------|----------|-------------|
| | Residen. | No residen. |
| 0 | 0,151 | 0,580 |
| 1 | 0,151 | 0,580 |
| 2 | 0,123 | 0,151 |
| 3 | 0,104 | 0,123 |
| 4 | 0,086 | 0,099 |
| 5 | 0,076 | 0,086 |
| 6 | 0,067 | 0,076 |
| 7 | 0,067 | 0,067 |
| 8 | 0,046 | 0,046 |

Tabla 27. Valores máximos de transmitancia térmica según zonas climáticas

Fuente: www.ashrae.org

Para el estándar ASHRAE la resistencia térmica superficial viene dada en una tabla según la posición de la superficie y la emisividad superficial.

| Posición de la superficie | Dirección del flujo | Emisividad superficial | | | | | |
|---------------------------|---------------------|--------------------------------------|----------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------|
| | | No reflectivo $\epsilon = 0.90$ | | Reflectivo | | | |
| | | | | $\epsilon = 0.20$ | | $\epsilon = 0.05$ | |
| | | h_i (Btu/h·ft ² ·°F) | R (h·ft ² ·°F/Btu) | h_i (Btu/h·ft ² ·°F) | R (h·ft ² ·°F/Btu) | h_i (Btu/h·ft ² ·°F) | R (h·ft ² ·°F/Btu) |
| Horizontal | Hacia arriba | 1.63 | 0.61 | 0.91 | 1.10 | 0.76 | 1.32 |
| Pendiente de 45° | Hacia arriba | 1.60 | 0.62 | 0.88 | 1.14 | 0.73 | 1.37 |
| Vertical | Horizontal | 1.46 | 0.68 | 0.74 | 1.35 | 0.59 | 1.70 |
| Pendiente de 45° | Hacia abajo | 1.32 | 0.76 | 0.60 | 1.67 | 0.45 | 2.22 |
| Horizontal | Hacia abajo | 1.08 | 0.92 | 0.37 | 2.70 | 0.22 | 4.55 |

Tabla 28. Resistencias térmicas superficiales ASHRAE

Fuente: www.ashrae.org

Al ser una fachada el elemento de estudio la posición de la superficie será vertical y al ser un ladrillo el material exterior la emisividad de este será alrededor de 0.90 por lo tanto el valor de resistencia térmica superficial será de 0.68 (h·ft²·°F/Btu) que haciendo la conversión es 0,1207 W/m²K.

Con estos valores y sabiendo que la transmitancia, U, para un cerramiento tipo con aislamiento se define como

$$U_{ca} = \frac{1}{R_i + R_c + R_{aisl} + R_{ext}}$$

Donde R_{aisl} es la resistencia térmica del material aislante se puede calcular el espesor de material aislante como

$$R = \frac{e}{k}$$

Donde k es el coeficiente de conductividad térmica del material y X el espesor.

El espesor mínimo de aislante para el estándar ASHRAE será:

$$U_{ca} = \frac{1}{R_i + R_c + \frac{e}{k} + R_{ext}} = 0,104$$

$$0,104 = \frac{1}{0,12 + \frac{0,12}{0,67} + \frac{0,030}{0,024} + \frac{e}{0,034} + 0,16 + \frac{0,015}{0,56}}$$

$$e = 0,26790 = 267,90 \text{ mm}$$

- Passive House

El estándar Passive House divide sus requerimientos globales de aislamiento térmico según 7 climas. Para este estándar la ciudad de Murcia, como puede verse en el mapa, se encuentra en una zona con un clima cálido.

Los aislamientos térmicos por el interior, como en este caso, tienen una transmitancia máxima de $0,75 \text{ W/m}^2\text{K}$.

| Zona climática | Envolvente opaca respecto al... | | |
|-----------------|---------------------------------|---|---|
| | ...contacto con el suelo | | ...aire exterior |
| | Aislamiento | Aislamiento exterior $\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$ | Aislamiento interior $\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$ |
| Polar | | 0,09 | 0,25 |
| Frio | | 0,12 | 0,3 |
| Frio-templado | | 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 |

Tabla 29. Valores máximos de transmitancia térmica por zonas climáticas.

Fuente: Criterios y algoritmos para componentes certificados Passivhaus: Sistemas constructivos opacos.

Para este estándar las resistencias térmicas superficiales son correspondiente al aire exterior $0,04 \text{ W/m}^2\text{K}$ y correspondiente al aire interior $0,13 \text{ W/m}^2\text{K}$.

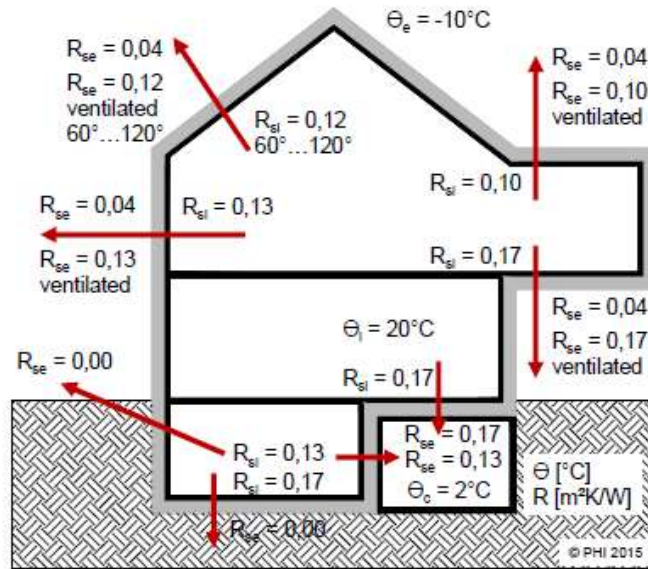


Figura 22. Valores de resistencia térmica superficial Passive House

Fuente: Criterios y algoritmos para componentes certificados Passivehaus: Sistemas constructivos opacos

Para este estándar con la lana de vidrio como material aislante el espesor mínimo es:

$$U_{ca} = \frac{1}{R_i + R_c + \frac{e}{k} + R_{ext}} = 0,75$$

$$0,75 = \frac{1}{0,04 + \frac{0,12}{0,67} + \frac{0,03}{0,024} + \frac{e}{0,034} + 0,16 + \frac{0,015}{0,56} + 0,13}$$

$$e = -0,01538 = -15,38 \text{ mm}$$

- Código técnico edificación de España

En el Documento Básico de Ahorro de Energía del Código Técnico de Edificación se recogen las transposiciones del estándar EPBD que ha hecho el estado español. Los requisitos de aislamiento térmico dependen de la situación geográfica, como se ha visto anteriormente.

La ciudad de Murcia con una altitud de 42 m (AEMET, s.f.), se encuentra en una zona climática B3 según la Tabla a-Anejo B.

| Provincia | Altitud sobre el nivel del mar (h) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------|------------------------------------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|---------------|---------------|-------------|
| | ≤ 50 m | 51 - 100 m | 101 - 150 m | 151 - 200 m | 201 - 250 m | 251 - 300 m | 301 - 350 m | 351 - 400 m | 401 - 450 m | 451 - 500 m | 501 - 550 m | 551 - 600 m | 601 - 650 m | 651 - 700 m | 701 - 750 m | 751 - 800 m | 801 - 850 m | 851 - 900 m | 901 - 950 m | 951 - 1000 m | 1001 - 1050 m | 1051 - 1250 m | 251 - 300 m |
| Albacete | C3 | | | | | | | D3 | | | | | | | E1 | | | | | | | | |
| Alicante/Alacant | B4 | | | | C3 | | | | | | | D3 | | | | | | | | | | | |
| Almería | A4 | B4 | | | B3 | | | C3 | | | | | D3 | | | | | | | | | | |
| Araba/Álava | D1 | | | | | | | | | | E1 | | | | | | | | | | | | |
| Asturias | C1 | D1 | | | | | | | E1 | | | | | | | | | | | | | | |
| Ávila | D2 | | | | | | | D1 | | | E1 | | | | | | | | | | | | |
| Badajoz | C4 | | | | | C3 | | D3 | | | | | | | | | | | | | | | |
| Balears, Illes | B3 | | | | C3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Barcelona | C2 | | | D2 | | | D1 | | | | E1 | | | | | | | | | | | | |
| Bizkaia | C1 | | | | | | | D1 | | | | | | | | | | | | | | | |
| Burgos | D1 | | | | | | | | | | E1 | | | | | | | | | | | | |
| Cáceres | C4 | | | | | | | D3 | | | | | E1 | | | | | | | | | | |
| Cádiz | A3 | | | B3 | | | C3 | | C2 | | | D2 | | | | | | | | | | | |
| Cantabria | C1 | | | D1 | | | | | | | E1 | | | | | | | | | | | | |
| Castellón/Castelló | B3 | | | C3 | | | | D3 | | D2 | | | | E1 | | | | | | | | | |
| Ceuta | B3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Madrid | C3 | | | | | | | D3 | | | | | D2 | | E1 | | | | | | | | |
| Málaga | A3 | | | B3 | | | C3 | | | | D3 | | | | | | | | | | | | |
| Melilla | A3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Murcia | B3 | | | C3 | | | | D3 | | | | | | | | | | | | | | | |
| Navarra | C2 | | | D2 | | | D1 | | | | E1 | | | | | | | | | | | | |
| Ourense | C3 | | | C2 | | | D2 | | | | E1 | | | | | | | | | | | | |
| Palencia | D1 | | | | | | | | | | E1 | | | | | | | | | | | | |
| Palmas, Las | α3 | | | | A2 | | | | | B2 | | | C2 | | | | | | | | | | |

Figura 23. Zonas climáticas España

Fuente: CTE DB-HE

La transmitancia térmica máxima para esta zona climática es $0,56 \text{ W/m}^2$.

| Elemento | Zona climática de invierno | | | | | |
|---|----------------------------|------|------|------|------|------|
| | α | A | B | C | D | E |
| Muros y suelos en contacto con el aire exterior (U_s, U_m) | 0,80 | 0,70 | 0,56 | 0,49 | 0,41 | 0,37 |
| Cubiertas en contacto con el aire exterior (U_c) | 0,55 | 0,50 | 0,44 | 0,40 | 0,35 | 0,33 |
| Muros, suelos y cubiertas en contacto con espacios no habitables o con el terreno (U_T) Medianerías o particiones interiores pertenecientes a la envolvente térmica (U_{MD}) | 0,90 | 0,80 | 0,75 | 0,70 | 0,65 | 0,59 |
| Huecos (conjunto de marco, vidrio y, en su caso, cajón de persiana) (U_H)* | 3,2 | 2,7 | 2,3 | 2,1 | 1,8 | 1,80 |
| Puertas con superficie semitransparente igual o inferior al 50% | 5,7 | | | | | |

*Los huecos con uso de escaparate en unidades de uso con actividad comercial pueden incrementar el valor de U_H en un 50%.

Figura 24. Valores máximos de transmitancias térmicas según zona climática

Fuente: CTE DB-HE

Para el código técnico de edificación español las resistencias térmicas superficiales son correspondiente al aire exterior $0,04 \text{ W/m}^2\text{K}$ y correspondiente al aire interior $0,13 \text{ W/m}^2\text{K}$.

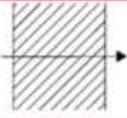

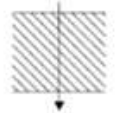
| Posición del cerramiento y sentido del flujo de calor | | R_{se} | R_{si} |
|--|---|----------|----------|
| Cerramientos verticales o con pendiente sobre la horizontal $>60^\circ$ y flujo horizontal |  | 0,04 | 0,13 |
| Cerramientos horizontales o con pendiente sobre la horizontal $\leq 60^\circ$ y flujo ascendente (techo) |  | 0,04 | 0,10 |
| Cerramientos horizontales y flujo descendente (suelo) |  | 0,04 | 0,17 |

Figura 24. Valores resistencias térmicas superficiales

Fuente: CTE DB-HE

Por lo tanto, para este estándar con la lana de vidrio como material aislante el espesor mínimo es:

$$U_{ca} = \frac{1}{R_i + R_c + \frac{e}{k} + R_{ext}} = 0,56$$

$$0,56 = \frac{1}{0,04 + \frac{0,12}{0,67} + \frac{0,03}{0,024} + \frac{e}{0,034} + 0,16 + \frac{0,015}{0,56} + 0,13}$$

$$e = -0,00019 = -1,9 \text{ mm}$$

Los resultados negativos de los espesores significan que la fachada sin la capa de aislante ya cumple los requisitos fijados por cada estándar de transmitancias máximas. De todos los elementos que componen la fachada el elemento que mayor resistencia térmica aporta a la fachada es la cámara de aire.

A continuación, se va a realizar el estudio con otra solución constructiva distinta.

La fachada escogida para realizar el nuevo análisis es una fachada de fábrica con revestimiento exterior continuo y asilamiento por el interior.

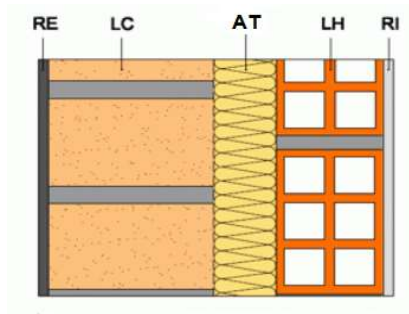


Figura 25. Fachada de fábrica con revestimiento exterior continuo y aislamiento por el interior

Fuente: Isover

Esta fachada cuenta con los mismos elementos que la anterior, sin cámara de aire y con un revestimiento exterior de 15 mm de mortero de cemento con una conductividad térmica de 0,41 W/m·k. (Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja y Instituto de la Construcción de Castilla y León., s.f.)

| Materiales | ρ | λ | C_p | μ |
|------------|--------|-----------|-------|-------|
| Genérico | < 1000 | 0.41 | 1000 | 10 |

Figura 26.

Fuente: Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja

Los espesores mínimos para esta fachada son:

- ASHRAE

$$0,104 = \frac{1}{0,12 + \frac{0,12}{0,67} + \frac{0,015}{0,41} + \frac{e}{0,034} + 0,16 + \frac{0,015}{0,56}}$$

$$e = 0,30956 = 309,56 \text{ mm}$$

- Passive House

$$0,75 = \frac{1}{0,04 + \frac{0,12}{0,67} + \frac{0,015}{0,41} + \frac{e}{0,034} + 0,16 + \frac{0,015}{0,56} + 0,13}$$

$$e = 0,02588 = 25,88 \text{ mm}$$

- Código técnico edificación de España

$$0,56 = \frac{1}{0,04 + \frac{0,12}{0,67} + \frac{0,015}{0,41} + \frac{e}{0,034} + 0,16 + \frac{0,015}{0,56} + 0,13}$$

$$e = 0,04126 = 41,26 \text{ mm}$$

Con este tipo de fachada si es necesario un requerimiento de aislante en la que el estándar que menos espesor de aislante necesita es Passive House, seguido del requerimiento del CTE y por último ASHRAE es el estándar que mayor espesor necesita.

8. ANÁLISIS ECONÓMICO Y ESPESOR ÓPTIMO.

En el anterior apartado se ha analizado el espesor mínimo marcado por cada estándar constructivo pero este valor no significa que sea el espesor más apropiado para las características constructivas y climáticas de un edificio. Por ello es necesario realizar una optimización del espesor para conocer el valor óptimo que hace que ese aislante sea rentable.

8.1 Método de cálculo del espesor óptimo

Los pasos de los que se compone el método de determinación del espesor óptimo de aislamiento a seguir son (Ömer KAYNAKLI, Faruk KAYNAKLI, 2016):

1. Cálculo de los grados-día de calefacción y refrigeración.

El cálculo de los grados-día de calefacción y refrigeración es una forma estimada de calcular los requerimientos tanto de calefacción como de refrigeración que necesita un edificio. Este método se basa en que las necesidades de energía son proporcionales a la diferencia entre la temperatura media diaria exterior y la base y una temperatura base fijada por cada estándar. El código técnico fija la temperatura base para la utilización de los sistemas de calefacción en 15 °C. La temperatura base para la puesta en marcha de la refrigeración es 20 °C. (Código Técnico de Edificación DB-HE/1, 2019).

- Los grados-días de calefacción son:

$$GHC = \sum_1^{365} (T_{base} - T_{exterior})$$

- Los grados-día de refrigeración son:

$$GHR = \sum_1^{365} (T_{exterior} - T_{base}) =$$

2. Transmitancia del cerramiento.

La transmitancia térmica de una fachada sin aislante térmico se calcula como:

$$U_{f,no\ ais} = \frac{1}{R_i + R_c + R_{ext}} = \frac{1}{R_T}$$

La transmitancia térmica de una fachada con aislante térmico se calcula como:

$$U_{f,ais} = \frac{1}{R_i + R_c + R_{ais} + R_{ext}} = \frac{1}{R_T}$$

Siendo la resistencia térmica del aislante:

$$R_{ais} = \frac{X}{k}$$

Donde:

- X: Espesor del material (m).
- K: Coeficiente de conductividad térmica del material (W/m·k).

La diferencia en la transmitancia de la fachada con aislamiento y sin aislamiento es:

$$\Delta U = U_{f,no\ ais} - U_{f,ais} = \frac{1}{R_T} - \frac{1}{R_T + \frac{X}{k}}$$

3. Requisitos anuales de refrigeración y calefacción.

Para calcular los requisitos de energía para calefacción y para refrigeración primero hay que conocer las pérdidas de calor que se producen por unidad de superficie en la fachada. Estas pérdidas son:

$$q = U * \Delta T$$

Donde:

- U : El coeficiente de transmisión de calor (W/m^2K).
- ΔT : Es el gradiente de temperatura entre la temperatura interior y la exterior (K).

Los requerimientos energéticos anuales de calefacción debido a las pérdidas de calor son:

$$q_{anual,calef} = \frac{24 * 3600 * GHC * U}{\eta}$$

Donde:

- 24: Horas que componen un día.
- 3600: Segundos que componen una hora.
- η : Eficiencia del sistema de calefacción.

Los requerimientos energéticos anuales de refrigeración debido a las ganancias son:

$$q_{anual,calef} = \frac{24 * 3600 * GHR * U}{COP}$$

- 24: Horas que componen un día.
- 3600: Segundos que componen una hora.
- COP : Eficiencia del sistema de calefacción.

Por lo tanto, sustituyendo la transmitancia térmica por la inversa de la suma de las resistencias térmicas de los elementos que componen la pared se tiene:

- Energía anual necesaria para calefacción:

$$E_{anual,calef} = \frac{86400 * GHC}{\eta * (R_{ais} + R_T)}$$

- Energía anual necesaria para refrigeración:

$$E_{anual,calef} = \frac{86400 * GHR}{COP * (R_{ais} + R_T)}$$

4. Costes de inversión.

Los costes de inversión se componen por el coste energético de los sistemas de calefacción y refrigeración y el coste del aislante requerido. Para calcular el coste de inversión es necesario tener en cuenta el valor presente neto (VPN).

El coste de los sistemas de calefacción es:

$$C_{anual,calef} = \frac{86400 * GHC * C_{fuel}}{\eta * (R_{ais} + R_T) * LHV}$$

Donde:

- C_{fuel} : Coste del fuel (€/m³).
- LHV : Poder calorífico del fuel (J/m³).

El coste de los sistemas de refrigeración es:

$$C_{anual,refr} = \frac{86400 * GHC * C_{elec}}{(R_{ais} + R_T) * COP}$$

Donde:

- C_{elec} : Coste de la electricidad (€/kWh).
- LHV : Poder calorífico del fuel (J/m³).

El coste del aislante requerido es:

$$C_{total,aisl} = C_{aisl} * X$$

Donde:

- C_{aisl} : Coste del aislante (€/m³).
- X : Espesor del aislante (m).

El valor presente neto (VPN) de la inversión es:

$$VPN = \frac{(1 + r)^n - 1}{r * (1 + r)^n}$$

Si $i > g$:

$$r = \frac{i - g}{1 + g}$$

Si $i < g$:

$$r = \frac{g - i}{1 + i}$$

Si $i = g$:

$$VPN = \frac{n}{1 + i}$$

Donde:

- i : Tasa de inflación.
- g : Tasa de interés.
- n : Ciclo de vida.

El coste total debido a los requerimientos de calefacción del edificio es:

$$C_{total,calef} = (C_{aisl} * x) + \frac{86400 * GHC * C_{fuel} * VPN}{\eta * \left(\frac{x}{k} + R_T\right) * LHV}$$

El coste total debido a los requerimientos de refrigeración del edificio es:

$$C_{total,refr} = (C_{aisl} * x) + \frac{86400 * GHC * C_{elect} * VPN}{\left(\frac{x}{k} + R_T\right) * COP}$$

El coste total debido a la demanda de calefacción y refrigeración conjuntamente es:

$$C_{total} = (C_{aisl} * x) + \left(\frac{86400 * GHC * C_{fuel} * VPN}{\eta * \left(\frac{x}{k} + R_T\right) * LHV} + \frac{86400 * GHC * C_{elect} * VPN}{\left(\frac{x}{k} + R_T\right) * COP} \right)$$

5. Espesor óptimo.

El espesor óptimo para refrigeración, para calefacción y total se calcula optimizando las ecuaciones de los costes totales de cada uno de estas variables.

Así el espesor óptimo para calefacción será:

$$X_{opt,calef} = 293,94 * \left(\frac{GHC * C_{fuel} * k * VPN}{LHV * \eta * C_{aisl}} \right)^{1/2} - (K * R_T)$$

El espesor óptimo para refrigeración será:

$$X_{opt,refrg} = 293,94 * \left(\frac{GHC * C_{elec} * k * VPN}{COP * C_{aisl}} \right)^{1/2} - (K * R_T)$$

El espesor óptimo para refrigeración y calefacción será:

$$X_{opt,calef+refr} = 293,94 * \left(\frac{GHC * C_{fuel} * k * VPN}{LHV * \eta * C_{aisl}} + \frac{GHC * C_{elec} * k * VPN}{COP * C_{aisl}} \right)^{1/2} - (K * R_T)$$

8.2 Cálculo del espesor óptimo para una fachada.

Para el cálculo del espesor de aislante óptimo para una fachada se va a realizar el análisis en una fachada vista, ventilada, con aislamiento por el interior, en la localidad de Murcia (España) con la lana de roca como material aislante.

Primero hay que calcular los grados-días de calefacción y refrigeración en Murcia.

- Los grados-días de calefacción en Murcia son:

$$GHC = \sum_1^{365} (T_{base} - T_{exterior}) = 459$$

Este cálculo se ha realizado con los valores de la estación meteorológica Murcia City, MU, ES (1.17W,38.00N) aportado en el anexo 1. (Bizee Degree Days Weather Data for Energy Saving., s.f.).

- Los grados-día de refrigeración en Murcia son:

$$GHR = \sum_1^{365} (T_{exterior} - T_{base}) = 1077$$

Este cálculo se ha realizado con los valores de la estación meteorológica Murcia City, MU, ES (1.17W,38.00N) aportado en el anexo 1. (Bizee Degree Days Weather Data for Energy Saving., s.f.).

Segundo hay que calcular la resistencia térmica de la fachada escogida.

$$R_{ais} = 0,04 + \frac{0,12}{0,67} + \frac{0,03}{0,024} + 0,16 + \frac{0,015}{0,56} + 0,13 = 1,785$$

A continuación, hay que calcular el valor presente neto (VPN). Para realizar este cálculo hay que conocer:

- Tasa de inflación = 0,79% (Inflation worldwidw inflation data, s.f.)
- Tasa de interés = 0,49% (Ministerio de Asuntos Económico y Transformación Digital, s.f.)
- El ciclo se vida escogido para la instalación es de 50 años.

Conocidos estos parámetros el valor presente neto en España es:

$$r = \frac{i - g}{1 + g} = 0,2013$$

$$VPN = \frac{(1 + r)^n - 1}{r * (1 + r)^n} = 4,9671$$

Los valores de las otras variables son:

- C_{fuel} : 0,0478 (€/kWh) * 11,70 kWh/ m3 = 0,559 €/ m3 (Preciogas, s.f.).
- C_{elect} : 0,1146 €/kWh. (Tarifasgasy luz, s.f.).
- C_{aisl} : 161,66 €/ m3 (Isover Saint-Gobain, s.f.).
- LHV : 34,526 x 10⁶ J/m3.
- COP: 4,5.
- η : 0,93.

Conocidos todos los parámetros el espesor óptimo es:

- Calefacción.

$$X_{opt,calef} = 293,94 * \left(\frac{GHC * C_{fuel} * k * VPN}{LHV * \eta * C_{aisl}} \right)^{1/2} - (K * R_T)$$

$$X_{opt,calef} = 0,02685 - (0,034 * 1,785) = -0,032217 \text{ m}$$

- Refrigeración.

$$X_{opt,calef} = 293,94 * \left(\frac{GHC * C_{elec} * k * VPN}{COP * C_{aisl}} \right)^{1/2} - (K * R_T)$$

$$X_{opt,refrg} = 0,02617 - (0,034 * 1,785) = -0,0328 \text{ m}$$

- Calefacción y refrigeración.

$$X_{opt,calef+refrg} = 293,94 * \left(\frac{GHC * C_{fuel} * k * VPN}{LHV * \eta * C_{aisl}} + \frac{GHC * C_{elec} * k * VPN}{COP * C_{aisl}} \right)^{1/2} - (K * R_T)$$

$$X_{opt,calef+refr} = 0,03752 - (0,034 * 1,785) = -0,02149 \text{ m}$$

Analizando los resultados de los espesores óptimos, estos resultan ser negativos. Esto indica que la inversión del aislamiento de la fachada escogida nunca va a ser rentable y nunca se va a recuperar el dinero invertido. Los factores que pueden producir esta no rentabilidad son los debidos al material aislante y a las soluciones constructivas (precio, conductividad térmica, años de vida útil, elementos que componen la fachada).

Estudiando los factores que influyen en el resultado, los elementos constructivos de la fachada sin aislamiento, la resistencia térmica sin aislamiento, hace que el espesor óptimo del aislamiento sea mayor o menor dependiendo de su valor. Según las ecuaciones a menor resistencia térmica mayor espesor de aislamiento.

Por lo tanto, se va a realizar el análisis en otro tipo de fachas que tenga una resistencia térmica menor sin aislamiento térmico. Para escoger esta nueva fachada se va a estudiar cuales son los elementos constructivos que más influyen, siendo la cámara de aire el elemento que mayor resistencia aporta a la fachada.

La fachada escogida para realizar el nuevo análisis es la una fachada de fábrica con revestimiento exterior continuo y aislamiento por el interior utilizada anteriormente.

La resistencia térmica de esta fachada es:

$$R_{ais} = 0,04 + \frac{0,12}{0,67} + \frac{0,015}{0,41} + 0,16 + \frac{0,015}{0,56} + 0,13 = 0,572$$

Siendo los demás parámetros iguales que el caso anterior el espesor óptimo es:

- Calefacción.

$$X_{opt,calef} = 293,94 * \left(\frac{GHC * C_{fuel} * k * VPN}{LHV * \eta * C_{aisl}} \right)^{1/2} - (K * R_T)$$

$$X_{opt,calef} = 0,02685 - (0,034 * 0,572) = 0,0074 \text{ m}$$

- Refrigeración.

$$X_{opt,calef} = 293,94 * \left(\frac{GHC * C_{elec} * k * VPN}{COP * C_{aisl}} \right)^{1/2} - (K * R_T)$$

$$X_{opt,refrg} = 0,02617 - (0,034 * 0,572) = 0,0067 \text{ m}$$

- Calefacción y refrigeración.

$$X_{opt,calef+refr} = 293,94 * \left(\frac{GHC * C_{fuel} * k * VPN}{LHV * \eta * C_{aisl}} + \frac{GHC * C_{elec} * k * VPN}{COP * C_{aisl}} \right)^{1/2} - (K * R_T)$$

$$X_{opt,calef+refr} = 0,03752 - (0,034 * 0,572) = 0,01813 \text{ m}$$

El espesor óptimo del aislante lana de roca para los requisitos de calefacción y refrigeración es de 18,3 mm. Este resultado también se puede obtener de forma gráfica comparando el espesor de aislante con los costes de refrigeración y calefacción, los costes de aislamiento y los costes totales.

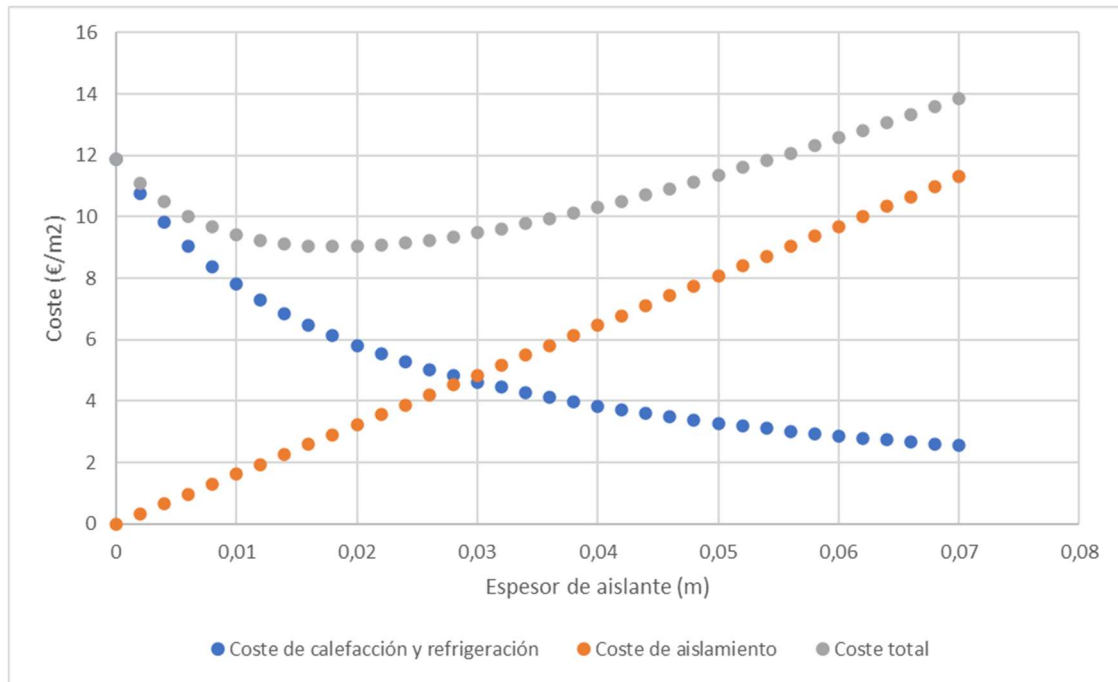


Figura Gráfica comparativa de espesor de aislante y precio.

Fuente: Elaboración propia

En este gráfico se puede comprobar que los costes totales tienen una tendencia parabólica. Debido a esta tendencia, el lugar de la curva donde la derivada de la pendiente sea cero corresponderá con el lugar donde el coste total es mínimo y será el espesor óptimo. En esta gráfica el punto notable donde la derivada de la curva de coste total es cero es el punto 0,018 m, el cual coincide con los cálculos numéricos realizados.

9. Conclusión.

En la primera parte del trabajo, se ha puesto en contexto la necesidad de construir edificios de muy bajo consumo energético y las características que estos presentan, enfocando el estudio en la importancia de la envolvente térmica. Se ha estudiado también las diferentes medidas que han tomado los estados miembros de la Unión Europea para cumplir con los requisitos impuestos por las directivas y los estándares europeos.

A continuación, se ha realizado un estudio de los diferentes requisitos de aislamiento térmico que imponen los estándares internacionales de nZEB, Passive House y ASHRAE, conjuntamente con los requisitos de la transposición española recogida en el Código Técnico de Edificación.

Este estudio se ha realizado en la localidad de Murcia (España), concluyendo que para esta zona climática el estándar que requiere un mayor espesor mínimo es el estándar ASHRAE con 309,56 mm , ya que es el que menor transmitancias máxima impone, seguido del CTE con 41,26 mm y el que menor espesor mínimo impone es Passive House con 25,88 mm.

También se puede concluir que la solución constructiva influye en el espesor mínimo de aislante requerido. La solución constructiva de una cámara de aire con un aislante interior produce un espesor de aislante negativo, lo que indica que no es necesario este aislante o que es necesario un material aislante con un mayor coeficiente de conductividad térmico. Comprobándose, en el análisis de una fachada con revestimiento continuo, sin cámara de aire y con el aislamiento por el interior, que si se ejecuta otra solución constructiva si que puede ser necesario el uso de aislamiento térmico para cumplir las transmitancias máximas.

Por último, se ha realizado un análisis económico para determinar el espesor óptimo del material aislante lana de roca para la fachada del caso anterior. Se ha obtenido que el espesor óptimo es 0,018 m, un valor inferior a los requisitos mínimos que imponen los estándares estudiados. Este espesor óptimo tan bajo indica que para la zona climática de Murcia no se necesita mucho espesor de este material debido a sus excelentes propiedades térmicas y a su alto coste, de hecho, existen pocos fabricantes que produzcan lana de roca con un espesor tan pequeño como 0,020 m

ANEXO.

Grados-hora de calefacción con base 15 °C

| | |
|--------------|---|
| Description: | Celsius-based heating degree days with a base temperature of 15 C |
| Source: | www.degreedays.net |
| Accuracy: | Estimates were made to account for missing data: the "% Estimated" column shows how much each figure was affected (0% is best, 100% is worst) |
| Station: | Murcia City, MU, ES (1.17W,38.00N) |
| Station ID: | 8430 |

| Date | HDD 15 | % Estimated | 26/10/2019 | 0,8 | 0 | 25/12/2019 | 3,7 | 1 | 23/02/2020 | 4,3 | 0 |
|------------|--------|-------------|------------|-----|---|------------|-----|---|------------|-----|---|
| 01/09/2019 | 0 | 0 | 27/10/2019 | 0,4 | 1 | 26/12/2019 | 2,9 | 0 | 24/02/2020 | 4 | 0 |
| 02/09/2019 | 0 | 0 | 28/10/2019 | 0,3 | 0 | 27/12/2019 | 3,5 | 0 | 25/02/2020 | 2,9 | 0 |
| 03/09/2019 | 0 | 0 | 29/10/2019 | 0,2 | 0 | 28/12/2019 | 5,2 | 0 | 26/02/2020 | 0,2 | 1 |
| 04/09/2019 | 0 | 0 | 30/10/2019 | 0 | 0 | 29/12/2019 | 4,3 | 0 | 27/02/2020 | 1,7 | 0 |
| 05/09/2019 | 0 | 0 | 31/10/2019 | 0 | 0 | 30/12/2019 | 4,6 | 0 | 28/02/2020 | 1,4 | 0 |
| 06/09/2019 | 0 | 0 | 01/11/2019 | 0 | 0 | 31/12/2019 | 6,3 | 0 | 29/02/2020 | 2,3 | 0 |
| 07/09/2019 | 0 | 0 | 02/11/2019 | 0 | 0 | 01/01/2020 | 6,2 | 1 | 01/03/2020 | 0 | 1 |
| 08/09/2019 | 0 | 0 | 03/11/2019 | 0 | 0 | 02/01/2020 | 4,9 | 1 | 02/03/2020 | 0,2 | 0 |
| 09/09/2019 | 0 | 0 | 04/11/2019 | 0,1 | 1 | 03/01/2020 | 5,7 | 1 | 03/03/2020 | 1,9 | 0 |
| 10/09/2019 | 0 | 0 | 05/11/2019 | 0 | 0 | 04/01/2020 | 5 | 1 | 04/03/2020 | 0,6 | 0 |
| 11/09/2019 | 0 | 0 | 06/11/2019 | 1,3 | 0 | 05/01/2020 | 6,4 | 1 | 05/03/2020 | 0,8 | 0 |
| 12/09/2019 | 0 | 0 | 07/11/2019 | 2,1 | 0 | 06/01/2020 | 6,9 | 1 | 06/03/2020 | 0,9 | 1 |
| 13/09/2019 | 0 | 1 | 08/11/2019 | 1,2 | 0 | 07/01/2020 | 6,8 | 1 | 07/03/2020 | 2 | 0 |
| 14/09/2019 | 0 | 0 | 09/11/2019 | 1,6 | 0 | 08/01/2020 | 6,7 | 0 | 08/03/2020 | 2,3 | 0 |
| 15/09/2019 | 0 | 0 | 10/11/2019 | 1 | 0 | 09/01/2020 | 3,9 | 1 | 09/03/2020 | 0 | 1 |
| 16/09/2019 | 0 | 0 | 11/11/2019 | 1,4 | 0 | 10/01/2020 | 4 | 0 | 10/03/2020 | 0,1 | 0 |
| 17/09/2019 | 0 | 0 | 12/11/2019 | 1,2 | 0 | 11/01/2020 | 3,2 | 0 | 11/03/2020 | 0,9 | 0 |
| 18/09/2019 | 0 | 0 | 13/11/2019 | 1,2 | 0 | 12/01/2020 | 6,5 | 0 | 12/03/2020 | 1 | 1 |
| 19/09/2019 | 0 | 0 | 14/11/2019 | 2,3 | 0 | 13/01/2020 | 6,8 | 0 | 13/03/2020 | 0,8 | 0 |
| 20/09/2019 | 0 | 0 | 15/11/2019 | 4 | 0 | 14/01/2020 | 6,5 | 0 | 14/03/2020 | 1 | 0 |
| 21/09/2019 | 0 | 1 | 16/11/2019 | 5,1 | 0 | 15/01/2020 | 6,1 | 0 | 15/03/2020 | 0,4 | 0 |
| 22/09/2019 | 0 | 0 | 17/11/2019 | 5 | 0 | 16/01/2020 | 5,6 | 0 | 16/03/2020 | 2,6 | 0 |
| 23/09/2019 | 0 | 0 | 18/11/2019 | 3 | 0 | 17/01/2020 | 4,7 | 0 | 17/03/2020 | 3 | 0 |
| 24/09/2019 | 0 | 0 | 19/11/2019 | 4,2 | 0 | 18/01/2020 | 4 | 0 | 18/03/2020 | 1 | 0 |
| 25/09/2019 | 0 | 1 | 20/11/2019 | 4,3 | 0 | 19/01/2020 | 5,5 | 0 | 19/03/2020 | 1 | 1 |
| | | | 21/11/2019 | 3,9 | 0 | 20/01/2020 | 7,3 | 1 | 20/03/2020 | 1,6 | 0 |
| | | | 22/11/2019 | 3,2 | 1 | 21/01/2020 | 5,7 | 0 | 21/03/2020 | 2,1 | 0 |
| | | | 23/11/2019 | 0,8 | 1 | 22/01/2020 | 4 | 0 | 22/03/2020 | 4 | 0 |
| | | | 24/11/2019 | 2,6 | 0 | 23/01/2020 | 4,3 | 0 | 23/03/2020 | 2,4 | 0 |
| 26/09/2019 | 0 | 0 | 25/11/2019 | 3,3 | 0 | 24/01/2020 | 3,5 | 0 | 24/03/2020 | 2,6 | 0 |
| 27/09/2019 | 0 | 0 | 26/11/2019 | 1,7 | 1 | 25/01/2020 | 3,1 | 0 | 25/03/2020 | 3 | 1 |
| 28/09/2019 | 0 | 0 | 27/11/2019 | 1,5 | 3 | 26/01/2020 | 4,1 | 0 | 26/03/2020 | 3 | 1 |
| 29/09/2019 | 0 | 0 | 28/11/2019 | 2,4 | 0 | 27/01/2020 | 5 | 0 | 27/03/2020 | 4,5 | 0 |
| 30/09/2019 | 0 | 0 | 29/11/2019 | 1,7 | 0 | 28/01/2020 | 3,7 | 0 | 28/03/2020 | 3,5 | 0 |
| 01/10/2019 | 0 | 1 | 30/11/2019 | 1 | 0 | 29/01/2020 | 2,2 | 0 | 29/03/2020 | 2,8 | 0 |
| 02/10/2019 | 0 | 0 | 01/12/2019 | 2,6 | 1 | 30/01/2020 | 1,7 | 0 | 30/03/2020 | 2,3 | 0 |
| 03/10/2019 | 0 | 0 | 02/12/2019 | 1,5 | 0 | 31/01/2020 | 0,8 | 0 | 31/03/2020 | 1,5 | 0 |
| 04/10/2019 | 0 | 0 | 03/12/2019 | 2,9 | 1 | 01/02/2020 | 1,4 | 0 | 01/04/2020 | 0,8 | 0 |
| 05/10/2019 | 0 | 0 | 04/12/2019 | 2,6 | 0 | 02/02/2020 | 0,7 | 1 | 02/04/2020 | 2,5 | 0 |
| 06/10/2019 | 0 | 1 | 05/12/2019 | 2,1 | 0 | 03/02/2020 | 1,9 | 0 | 03/04/2020 | 1,9 | 0 |
| 07/10/2019 | 0 | 0 | 06/12/2019 | 1,8 | 0 | 04/02/2020 | 1,6 | 0 | 04/04/2020 | 2,5 | 0 |
| 08/10/2019 | 0 | 0 | 07/12/2019 | 3,7 | 0 | 05/02/2020 | 1,8 | 0 | 05/04/2020 | 1,6 | 0 |
| 09/10/2019 | 0 | 1 | 08/12/2019 | 3,4 | 0 | 06/02/2020 | 4,3 | 0 | 06/04/2020 | 1,7 | 0 |
| 10/10/2019 | 0 | 0 | 09/12/2019 | 0,3 | 0 | 07/02/2020 | 4,1 | 0 | 07/04/2020 | 1,2 | 0 |
| 11/10/2019 | 0 | 0 | 10/12/2019 | 1,9 | 0 | 08/02/2020 | 3,3 | 0 | 08/04/2020 | 1,6 | 0 |
| 12/10/2019 | 0 | 0 | 11/12/2019 | 4 | 0 | 09/02/2020 | 2,2 | 0 | 09/04/2020 | 1,5 | 0 |
| 13/10/2019 | 0 | 0 | 12/12/2019 | 2,7 | 0 | 10/02/2020 | 2,8 | 0 | 10/04/2020 | 0,2 | 0 |
| 14/10/2019 | 0 | 0 | 13/12/2019 | 0,9 | 0 | 11/02/2020 | 0,8 | 0 | 11/04/2020 | 1,4 | 0 |
| 15/10/2019 | 0 | 0 | 14/12/2019 | 1,9 | 0 | 12/02/2020 | 1,7 | 0 | 12/04/2020 | 1 | 0 |
| 16/10/2019 | 0,7 | 1 | 15/12/2019 | 3 | 1 | 13/02/2020 | 1,5 | 0 | 13/04/2020 | 0,8 | 0 |
| 17/10/2019 | 0,5 | 1 | 16/12/2019 | 4,4 | 0 | 14/02/2020 | 1,9 | 0 | 14/04/2020 | 0 | 0 |
| 18/10/2019 | 0,1 | 0 | 17/12/2019 | 2,3 | 1 | 15/02/2020 | 2,9 | 0 | 15/04/2020 | 0 | 0 |
| 19/10/2019 | 0,2 | 0 | 18/12/2019 | 2,5 | 0 | 16/02/2020 | 2,9 | 0 | 16/04/2020 | 0,3 | 2 |
| 20/10/2019 | 0 | 0 | 19/12/2019 | 6,3 | 0 | 17/02/2020 | 2,1 | 0 | 17/04/2020 | 0,4 | 0 |
| 21/10/2019 | 1,3 | 0 | 20/12/2019 | 0,9 | 0 | 18/02/2020 | 1,2 | 0 | 18/04/2020 | 0 | 0 |
| 22/10/2019 | 1,2 | 0 | 21/12/2019 | 0,1 | 0 | 19/02/2020 | 1,9 | 0 | 19/04/2020 | 0 | 0 |
| 23/10/2019 | 1,8 | 0 | 22/12/2019 | 0,1 | 0 | 20/02/2020 | 3,3 | 0 | 20/04/2020 | 0,5 | 0 |
| 24/10/2019 | 0,9 | 0 | 23/12/2019 | 2,6 | 0 | 21/02/2020 | 4,3 | 0 | 21/04/2020 | 0,8 | 0 |
| 25/10/2019 | 0,7 | 0 | 24/12/2019 | 3,2 | 0 | 22/02/2020 | 4,3 | 0 | 22/04/2020 | 0 | 0 |

| | | |
|------------|-----|---|
| 23/04/2020 | 0,7 | 0 |
| 24/04/2020 | 0,7 | 0 |
| 25/04/2020 | 0,6 | 0 |
| 26/04/2020 | 0,7 | 0 |
| 27/04/2020 | 0,1 | 0 |
| 28/04/2020 | 0,7 | 0 |
| 29/04/2020 | 0,7 | 0 |
| 30/04/2020 | 0,3 | 0 |
| 01/05/2020 | 0 | 0 |
| 02/05/2020 | 0 | 0 |
| 03/05/2020 | 0 | 0 |
| 04/05/2020 | 0 | 0 |
| 05/05/2020 | 0 | 0 |
| 06/05/2020 | 0 | 0 |
| 07/05/2020 | 0 | 0 |
| 08/05/2020 | 0 | 0 |
| 09/05/2020 | 0 | 0 |
| 10/05/2020 | 0 | 0 |
| 11/05/2020 | 0 | 0 |
| 12/05/2020 | 0 | 0 |
| 13/05/2020 | 0,5 | 0 |
| 14/05/2020 | 0,3 | 0 |
| 15/05/2020 | 0 | 0 |
| 16/05/2020 | 0,3 | 1 |
| 17/05/2020 | 0 | 0 |
| 18/05/2020 | 0 | 0 |
| 19/05/2020 | 0 | 0 |
| 20/05/2020 | 0 | 0 |
| 21/05/2020 | 0 | 0 |
| 22/05/2020 | 0 | 0 |

| | | |
|------------|---|---|
| 23/05/2020 | 0 | 0 |
| 24/05/2020 | 0 | 0 |
| 25/05/2020 | 0 | 0 |
| 26/05/2020 | 0 | 0 |
| 27/05/2020 | 0 | 0 |
| 28/05/2020 | 0 | 1 |
| 29/05/2020 | 0 | 0 |
| 30/05/2020 | 0 | 0 |
| 31/05/2020 | 0 | 0 |
| 01/06/2020 | 0 | 1 |
| 02/06/2020 | 0 | 0 |
| 03/06/2020 | 0 | 0 |
| 04/06/2020 | 0 | 1 |
| 05/06/2020 | 0 | 0 |
| 06/06/2020 | 0 | 0 |
| 07/06/2020 | 0 | 1 |
| 08/06/2020 | 0 | 0 |
| 09/06/2020 | 0 | 0 |
| 10/06/2020 | 0 | 0 |
| 11/06/2020 | 0 | 0 |
| 12/06/2020 | 0 | 0 |
| 13/06/2020 | 0 | 0 |
| 14/06/2020 | 0 | 0 |
| 15/06/2020 | 0 | 0 |
| 16/06/2020 | 0 | 0 |
| 17/06/2020 | 0 | 0 |
| 18/06/2020 | 0 | 0 |
| 19/06/2020 | 0 | 0 |
| 20/06/2020 | 0 | 0 |
| 21/06/2020 | 0 | 0 |

| | | |
|------------|---|---|
| 22/06/2020 | 0 | 0 |
| 23/06/2020 | 0 | 0 |
| 24/06/2020 | 0 | 0 |
| 25/06/2020 | 0 | 0 |
| 26/06/2020 | 0 | 0 |
| 27/06/2020 | 0 | 0 |
| 28/06/2020 | 0 | 1 |
| 29/06/2020 | 0 | 0 |
| 30/06/2020 | 0 | 0 |
| 01/07/2020 | 0 | 0 |
| 02/07/2020 | 0 | 0 |
| 03/07/2020 | 0 | 1 |
| 04/07/2020 | 0 | 0 |
| 05/07/2020 | 0 | 0 |
| 06/07/2020 | 0 | 0 |
| 07/07/2020 | 0 | 0 |
| 08/07/2020 | 0 | 0 |
| 09/07/2020 | 0 | 0 |
| 10/07/2020 | 0 | 0 |
| 11/07/2020 | 0 | 0 |
| 12/07/2020 | 0 | 1 |
| 13/07/2020 | 0 | 0 |
| 14/07/2020 | 0 | 0 |
| 15/07/2020 | 0 | 1 |
| 16/07/2020 | 0 | 0 |
| 17/07/2020 | 0 | 0 |
| 18/07/2020 | 0 | 0 |
| 19/07/2020 | 0 | 0 |
| 20/07/2020 | 0 | 1 |
| 21/07/2020 | 0 | 0 |

| | | |
|------------|---|---|
| 22/07/2020 | 0 | 0 |
| 23/07/2020 | 0 | 0 |
| 24/07/2020 | 0 | 0 |
| 25/07/2020 | 0 | 0 |
| 26/07/2020 | 0 | 0 |
| 27/07/2020 | 0 | 0 |
| 28/07/2020 | 0 | 0 |
| 29/07/2020 | 0 | 0 |
| 30/07/2020 | 0 | 1 |
| 31/07/2020 | 0 | 0 |
| 01/08/2020 | 0 | 0 |
| 02/08/2020 | 0 | 0 |
| 03/08/2020 | 0 | 0 |
| 04/08/2020 | 0 | 1 |
| 05/08/2020 | 0 | 0 |
| 06/08/2020 | 0 | 0 |
| 07/08/2020 | 0 | 0 |
| 08/08/2020 | 0 | 0 |
| 09/08/2020 | 0 | 0 |
| 10/08/2020 | 0 | 0 |
| 11/08/2020 | 0 | 0 |
| 12/08/2020 | 0 | 0 |
| 13/08/2020 | 0 | 0 |
| 14/08/2020 | 0 | 0 |
| 15/08/2020 | 0 | 1 |
| 16/08/2020 | 0 | 1 |
| 17/08/2020 | 0 | 0 |
| 18/08/2020 | 0 | 0 |
| 19/08/2020 | 0 | 0 |
| 20/08/2020 | 0 | 0 |

| | | |
|------------|---|---|
| 21/08/2020 | 0 | 0 |
| 22/08/2020 | 0 | 0 |
| 23/08/2020 | 0 | 1 |
| 24/08/2020 | 0 | 0 |
| 25/08/2020 | 0 | 0 |
| 26/08/2020 | 0 | 1 |
| 27/08/2020 | 0 | 0 |
| 28/08/2020 | 0 | 0 |
| 29/08/2020 | 0 | 0 |
| 30/08/2020 | 0 | 0 |
| 31/08/2020 | 0 | 0 |
| 01/09/2020 | 0 | 0 |
| 02/09/2020 | 0 | 0 |
| 03/09/2020 | 0 | 0 |
| 04/09/2020 | 0 | 1 |
| 05/09/2020 | 0 | 0 |
| 06/09/2020 | 0 | 0 |
| 07/09/2020 | 0 | 0 |
| 08/09/2020 | 0 | 0 |
| 09/09/2020 | 0 | 0 |
| 10/09/2020 | 0 | 0 |
| 11/09/2020 | 0 | 0 |

Grados-hora de refrigeración con base 15 °C

| | |
|--------------|---|
| Description: | Celsius-based cooling degree days with a base temperature of 20 C |
| Source: | www.degreedays.net |
| Accuracy: | Estimates were made to account for missing data: the "% Estimated" column shows how much each figure was affected (0% is best, 100% is worst) |
| Station: | Murcia City, MU, ES (1.17W,38.00N) |
| Station ID: | 8430 |

| Date | CDD 20 | % Estimated | 29/10/2019 | 2,1 | 0 | 28/12/2019 | 0 | 0 | 26/02/2020 | 0,7 | 1 |
|------------|--------|-------------|------------|-----|---|------------|-----|---|------------|-----|---|
| 01/09/2019 | 8 | 0 | 30/10/2019 | 2,2 | 0 | 29/12/2019 | 0 | 0 | 27/02/2020 | 0,7 | 0 |
| 02/09/2019 | 5,6 | 0 | 31/10/2019 | 2,8 | 0 | 30/12/2019 | 0 | 0 | 28/02/2020 | 0,8 | 0 |
| 03/09/2019 | 6,4 | 0 | 01/11/2019 | 3,2 | 0 | 31/12/2019 | 0 | 0 | 29/02/2020 | 1,2 | 0 |
| 04/09/2019 | 6,6 | 0 | 02/11/2019 | 2,3 | 0 | 01/01/2020 | 0 | 1 | 01/03/2020 | 0,5 | 1 |
| 05/09/2019 | 5,3 | 0 | 03/11/2019 | 2,5 | 0 | 02/01/2020 | 0 | 1 | 02/03/2020 | 1,5 | 0 |
| 06/09/2019 | 5,5 | 0 | 04/11/2019 | 2,1 | 1 | 03/01/2020 | 0 | 1 | 03/03/2020 | 0,6 | 0 |
| 07/09/2019 | 4,6 | 0 | 05/11/2019 | 0,2 | 0 | 04/01/2020 | 0 | 1 | 04/03/2020 | 1,6 | 0 |
| 08/09/2019 | 4,1 | 0 | 06/11/2019 | 0,2 | 0 | 05/01/2020 | 0 | 1 | 05/03/2020 | 1,2 | 0 |
| 09/09/2019 | 4,3 | 0 | 07/11/2019 | 0,2 | 0 | 06/01/2020 | 0 | 1 | 06/03/2020 | 0 | 1 |
| 10/09/2019 | 4,9 | 0 | 08/11/2019 | 0 | 0 | 07/01/2020 | 0 | 1 | 07/03/2020 | 0,1 | 0 |
| 11/09/2019 | 0,5 | 0 | 09/11/2019 | 0 | 0 | 08/01/2020 | 0 | 0 | 08/03/2020 | 0,9 | 0 |
| 12/09/2019 | 0,1 | 1 | 10/11/2019 | 0 | 0 | 09/01/2020 | 0 | 1 | 09/03/2020 | 1 | 1 |
| 13/09/2019 | 1,2 | 0 | 11/11/2019 | 0 | 0 | 10/01/2020 | 0 | 0 | 10/03/2020 | 1 | 0 |
| 14/09/2019 | 2 | 0 | 12/11/2019 | 0 | 0 | 11/01/2020 | 0 | 0 | 11/03/2020 | 2,8 | 0 |
| 15/09/2019 | 4,2 | 0 | 13/11/2019 | 0,9 | 0 | 12/01/2020 | 0 | 0 | 12/03/2020 | 2 | 1 |
| 16/09/2019 | 5,2 | 0 | 14/11/2019 | 0 | 0 | 13/01/2020 | 0 | 0 | 13/03/2020 | 0,6 | 0 |
| 17/09/2019 | 4,2 | 0 | 15/11/2019 | 0 | 0 | 14/01/2020 | 0 | 0 | 14/03/2020 | 0,5 | 0 |
| 18/09/2019 | 4,9 | 1 | 16/11/2019 | 0 | 0 | 15/01/2020 | 0 | 0 | 15/03/2020 | 0,1 | 0 |
| 19/09/2019 | 4,1 | 0 | 17/11/2019 | 0 | 0 | 16/01/2020 | 0 | 0 | 16/03/2020 | 0 | 0 |
| 20/09/2019 | 3,9 | 0 | 18/11/2019 | 0 | 0 | 17/01/2020 | 0 | 0 | 17/03/2020 | 0 | 0 |
| 21/09/2019 | 5,1 | 0 | 19/11/2019 | 0 | 0 | 18/01/2020 | 0 | 0 | 18/03/2020 | 0 | 0 |
| 22/09/2019 | 6,2 | 0 | 20/11/2019 | 0 | 0 | 19/01/2020 | 0 | 0 | 19/03/2020 | 0 | 1 |
| 23/09/2019 | 4,8 | 0 | 21/11/2019 | 0 | 0 | 20/01/2020 | 0 | 1 | 20/03/2020 | 0 | 0 |
| 24/09/2019 | 5,1 | 0 | 22/11/2019 | 0 | 1 | 21/01/2020 | 0 | 0 | 21/03/2020 | 0 | 0 |
| 25/09/2019 | 5,4 | 1 | 23/11/2019 | 0 | 1 | 22/01/2020 | 0 | 0 | 22/03/2020 | 0 | 0 |
| 26/09/2019 | 4,2 | 0 | 24/11/2019 | 0 | 0 | 23/01/2020 | 0 | 0 | 23/03/2020 | 0 | 0 |
| 27/09/2019 | 5,1 | 0 | 25/11/2019 | 0,2 | 0 | 24/01/2020 | 0 | 0 | 24/03/2020 | 0 | 0 |
| 28/09/2019 | 3,9 | 0 | 26/11/2019 | 0,4 | 1 | 25/01/2020 | 0 | 0 | 25/03/2020 | 0 | 1 |
| | | | 27/11/2019 | 0,5 | 3 | 26/01/2020 | 0 | 0 | 26/03/2020 | 0 | 1 |
| 29/09/2019 | 4,8 | 0 | 28/11/2019 | 0,2 | 0 | 27/01/2020 | 0 | 0 | 27/03/2020 | 0 | 0 |
| 30/09/2019 | 4,3 | 0 | 29/11/2019 | 0,4 | 0 | 28/01/2020 | 0,1 | 0 | 28/03/2020 | 0 | 0 |
| 01/10/2019 | 6,2 | 1 | 30/11/2019 | 0,5 | 0 | 29/01/2020 | 0 | 0 | 29/03/2020 | 0,3 | 0 |
| 02/10/2019 | 5,5 | 0 | 01/12/2019 | 0,1 | 1 | 30/01/2020 | 0,2 | 0 | 30/03/2020 | 0 | 0 |
| 03/10/2019 | 3,7 | 0 | 02/12/2019 | 0 | 0 | 31/01/2020 | 0,3 | 0 | 31/03/2020 | 0 | 0 |
| 04/10/2019 | 4 | 0 | 03/12/2019 | 0 | 1 | 01/02/2020 | 0,6 | 0 | 01/04/2020 | 0,1 | 0 |
| 05/10/2019 | 3,5 | 0 | 04/12/2019 | 0 | 0 | 02/02/2020 | 0,7 | 1 | 02/04/2020 | 0 | 0 |
| 06/10/2019 | 3,5 | 1 | 05/12/2019 | 0 | 0 | 03/02/2020 | 1,2 | 0 | 03/04/2020 | 0 | 0 |
| 07/10/2019 | 4 | 0 | 06/12/2019 | 0 | 0 | 04/02/2020 | 1,6 | 0 | 04/04/2020 | 0 | 0 |
| 08/10/2019 | 3,4 | 0 | 07/12/2019 | 0 | 0 | 05/02/2020 | 0 | 0 | 05/04/2020 | 0 | 0 |
| 09/10/2019 | 2,9 | 1 | 08/12/2019 | 0 | 0 | 06/02/2020 | 0 | 0 | 06/04/2020 | 0,1 | 0 |
| 10/10/2019 | 2,8 | 0 | 09/12/2019 | 0 | 0 | 07/02/2020 | 0 | 0 | 07/04/2020 | 0,1 | 0 |
| 11/10/2019 | 2,5 | 0 | 10/12/2019 | 0,1 | 0 | 08/02/2020 | 0 | 0 | 08/04/2020 | 0,1 | 0 |
| 12/10/2019 | 2,6 | 0 | 11/12/2019 | 0 | 0 | 09/02/2020 | 0,1 | 0 | 09/04/2020 | 0 | 0 |
| 13/10/2019 | 3,6 | 0 | 12/12/2019 | 0 | 0 | 10/02/2020 | 0,6 | 0 | 10/04/2020 | 0,4 | 0 |
| 14/10/2019 | 2,8 | 0 | 13/12/2019 | 0,1 | 0 | 11/02/2020 | 1,2 | 0 | 11/04/2020 | 0,3 | 0 |
| 15/10/2019 | 1 | 0 | 14/12/2019 | 0 | 0 | 12/02/2020 | 0 | 0 | 12/04/2020 | 0 | 0 |
| 16/10/2019 | 1,4 | 1 | 15/12/2019 | 0 | 1 | 13/02/2020 | 0,1 | 0 | 13/04/2020 | 0,3 | 0 |
| 17/10/2019 | 2,3 | 1 | 16/12/2019 | 0 | 0 | 14/02/2020 | 0,3 | 0 | 14/04/2020 | 0 | 0 |
| 18/10/2019 | 2,4 | 0 | 17/12/2019 | 0 | 1 | 15/02/2020 | 0,2 | 0 | 15/04/2020 | 0 | 0 |
| 19/10/2019 | 2,3 | 0 | 18/12/2019 | 0 | 0 | 16/02/2020 | 0,3 | 0 | 16/04/2020 | 0 | 2 |
| 20/10/2019 | 0 | 0 | 19/12/2019 | 0 | 0 | 17/02/2020 | 1,1 | 0 | 17/04/2020 | 0,2 | 0 |
| 21/10/2019 | 0 | 0 | 20/12/2019 | 0 | 0 | 18/02/2020 | 0 | 0 | 18/04/2020 | 0 | 0 |
| 22/10/2019 | 0 | 0 | 21/12/2019 | 1,1 | 0 | 19/02/2020 | 0 | 0 | 19/04/2020 | 0,6 | 0 |
| 23/10/2019 | 0 | 0 | 22/12/2019 | 0,7 | 0 | 20/02/2020 | 0 | 0 | 20/04/2020 | 0,9 | 0 |
| 24/10/2019 | 0,2 | 0 | 23/12/2019 | 0,3 | 0 | 21/02/2020 | 0 | 0 | 21/04/2020 | 0,3 | 0 |
| 25/10/2019 | 1,2 | 0 | 24/12/2019 | 0,5 | 0 | 22/02/2020 | 0,2 | 0 | 22/04/2020 | 0,3 | 0 |
| 26/10/2019 | 1,1 | 0 | 25/12/2019 | 0,2 | 1 | 23/02/2020 | 0,2 | 0 | 23/04/2020 | 0,4 | 0 |
| 27/10/2019 | 0,7 | 1 | 26/12/2019 | 0,8 | 0 | 24/02/2020 | 0,6 | 0 | 24/04/2020 | 0,2 | 0 |
| 28/10/2019 | 0,4 | 0 | 27/12/2019 | 0 | 0 | 25/02/2020 | 1,5 | 0 | 25/04/2020 | 0 | 0 |

| | | | | | | | | |
|------------|-----|---|------------|------|---|------------|------|---|
| 26/04/2020 | 1,2 | 0 | | | | | | |
| 27/04/2020 | 1,3 | 0 | 25/06/2020 | 6,7 | 0 | 24/08/2020 | 8,5 | 0 |
| 28/04/2020 | 1,1 | 0 | 26/06/2020 | 6,6 | 0 | 25/08/2020 | 8,8 | 0 |
| 29/04/2020 | 1,6 | 0 | 27/06/2020 | 7,9 | 0 | 26/08/2020 | 9,4 | 1 |
| 30/04/2020 | 2,7 | 0 | 28/06/2020 | 7 | 1 | 27/08/2020 | 10,1 | 0 |
| 01/05/2020 | 3,5 | 0 | 29/06/2020 | 7,5 | 0 | 28/08/2020 | 9,3 | 0 |
| 02/05/2020 | 5,2 | 0 | 30/06/2020 | 7,3 | 0 | 29/08/2020 | 6,6 | 0 |
| 03/05/2020 | 4,2 | 0 | 01/07/2020 | 9,9 | 0 | 30/08/2020 | 3,4 | 0 |
| 04/05/2020 | 4,1 | 0 | 02/07/2020 | 8,8 | 0 | 31/08/2020 | 3,9 | 0 |
| 05/05/2020 | 4,7 | 0 | 03/07/2020 | 7,3 | 1 | 01/09/2020 | 3,9 | 0 |
| 06/05/2020 | 3,1 | 0 | 04/07/2020 | 7,3 | 0 | 02/09/2020 | 5,2 | 0 |
| 07/05/2020 | 2,7 | 0 | 05/07/2020 | 7 | 0 | 03/09/2020 | 5,1 | 0 |
| 08/05/2020 | 2 | 0 | 06/07/2020 | 8,2 | 0 | 04/09/2020 | 4,7 | 1 |
| 09/05/2020 | 1,9 | 0 | 07/07/2020 | 8,8 | 0 | 05/09/2020 | 5 | 0 |
| 10/05/2020 | 1,9 | 0 | 08/07/2020 | 7,2 | 0 | 06/09/2020 | 5,4 | 0 |
| 11/05/2020 | 3 | 0 | 09/07/2020 | 7,3 | 0 | 07/09/2020 | 4,3 | 0 |
| 12/05/2020 | 1,2 | 0 | 10/07/2020 | 7,4 | 0 | 08/09/2020 | 4 | 0 |
| 13/05/2020 | 1,8 | 0 | 11/07/2020 | 7,8 | 0 | 09/09/2020 | 4,2 | 0 |
| 14/05/2020 | 0,5 | 0 | 12/07/2020 | 7,2 | 1 | 10/09/2020 | 4,7 | 0 |
| 15/05/2020 | 0 | 0 | 13/07/2020 | 7,2 | 0 | | | |
| 16/05/2020 | 0,6 | 1 | 14/07/2020 | 5,6 | 0 | | | |
| 17/05/2020 | 0,6 | 0 | 15/07/2020 | 6 | 1 | | | |
| 18/05/2020 | 3,3 | 0 | 16/07/2020 | 6,1 | 0 | | | |
| 19/05/2020 | 4,8 | 0 | 17/07/2020 | 6,4 | 0 | | | |
| 20/05/2020 | 5 | 0 | 18/07/2020 | 6,8 | 0 | | | |
| 21/05/2020 | 4,5 | 0 | 19/07/2020 | 7,7 | 0 | | | |
| 22/05/2020 | 5,3 | 0 | 20/07/2020 | 7,8 | 1 | | | |
| 23/05/2020 | 5,3 | 0 | 21/07/2020 | 7,2 | 0 | | | |
| 24/05/2020 | 3,1 | 0 | 22/07/2020 | 7,7 | 0 | | | |
| 25/05/2020 | 2,6 | 0 | 23/07/2020 | 8,9 | 0 | | | |
| | | | 24/07/2020 | 8,9 | 0 | | | |
| 26/05/2020 | 2,6 | 0 | 25/07/2020 | 8,5 | 0 | | | |
| 27/05/2020 | 3,2 | 0 | 26/07/2020 | 8,4 | 0 | | | |
| 28/05/2020 | 2,7 | 1 | 27/07/2020 | 9,2 | 0 | | | |
| 29/05/2020 | 3,2 | 0 | 28/07/2020 | 9,2 | 0 | | | |
| 30/05/2020 | 3 | 0 | 29/07/2020 | 9,5 | 0 | | | |
| 31/05/2020 | 3,2 | 0 | 30/07/2020 | 9,6 | 1 | | | |
| 01/06/2020 | 3,9 | 1 | 31/07/2020 | 11,1 | 0 | | | |
| 02/06/2020 | 3,8 | 0 | 01/08/2020 | 12,4 | 0 | | | |
| 03/06/2020 | 5,2 | 0 | 02/08/2020 | 10,2 | 0 | | | |
| 04/06/2020 | 5 | 1 | 03/08/2020 | 8,9 | 0 | | | |
| 05/06/2020 | 4,6 | 0 | 04/08/2020 | 8,7 | 1 | | | |
| 06/06/2020 | 6,4 | 0 | 05/08/2020 | 8,1 | 0 | | | |
| 07/06/2020 | 5,5 | 1 | 06/08/2020 | 8,1 | 0 | | | |
| 08/06/2020 | 0,7 | 0 | 07/08/2020 | 8,5 | 0 | | | |
| 09/06/2020 | 2,1 | 0 | 08/08/2020 | 8,9 | 0 | | | |
| 10/06/2020 | 3,4 | 0 | 09/08/2020 | 9,7 | 0 | | | |
| 11/06/2020 | 5,6 | 0 | 10/08/2020 | 8,8 | 0 | | | |
| 12/06/2020 | 5,7 | 0 | 11/08/2020 | 8,3 | 0 | | | |
| 13/06/2020 | 4,2 | 0 | 12/08/2020 | 9 | 0 | | | |
| 14/06/2020 | 4,5 | 0 | 13/08/2020 | 9,7 | 0 | | | |
| 15/06/2020 | 6,4 | 0 | 14/08/2020 | 8 | 0 | | | |
| 16/06/2020 | 6 | 0 | 15/08/2020 | 8,5 | 1 | | | |
| 17/06/2020 | 4,3 | 0 | 16/08/2020 | 9,7 | 1 | | | |
| 18/06/2020 | 4,1 | 0 | 17/08/2020 | 9,1 | 0 | | | |
| 19/06/2020 | 5,2 | 0 | 18/08/2020 | 8,4 | 0 | | | |
| 20/06/2020 | 6,2 | 0 | 19/08/2020 | 8,3 | 0 | | | |
| 21/06/2020 | 6,6 | 0 | 20/08/2020 | 8,1 | 0 | | | |
| 22/06/2020 | 5,9 | 0 | 21/08/2020 | 10,4 | 0 | | | |
| 23/06/2020 | 5,4 | 0 | 22/08/2020 | 9,7 | 0 | | | |
| 24/06/2020 | 5 | 0 | 23/08/2020 | 8,8 | 1 | | | |