



Proyecto cofinanciado con la
Contribución del Programa LIFE
de la Unión Europea

Project co-funded with the
contribution of the LIFE Programme
of the European Union



SOLUCIONES DE AISLAMIENTO SOSTENIBLE PARA EDIFICIOS DE ENERGÍA CASI NULA (EECN)

LIFE ReNatural NZEB

LIFE ReNatural NZEB

Soluciones de aislamiento sostenible para Edificios de Energía Casi Nula (EECN)

Edición:

LNEG – Laboratório Nacional de Energia e Geologia, Estrada do Paço do Lumiar, 22. 1649-038 Lisboa Portugal

Versión en español

Noviembre 2022

Autores:

Ana Paula Duarte, LNEG

Ana Gonçalves, LNEG

David Loureiro, LNEG

Mónica Ruiz - Roso Luna, Junta da Extremadura (Espanha)

Dirección y coordinación:

Ana Paula Duarte, LNEG

ISBN: 978-989-675-126-5

Depósito Legal: 508795/22

Licença Creative Commons: El manual “ Soluciones de aislamiento sostenible para Edificios de Energía Casi Nula (EECN) “ tiene una licencia internacional Creative Commons-Attribution-NonCommercial-ShareAlike4.0 Para ver una cópia desta licença, visite <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>



Este manual forma parte de los materiales desarrollados en el proyecto LIFE ReNaturalNZEB. El material, texto y gráficos (con excepción de las fotografías) pueden ser utilizados en su totalidad o en parte para cualquier propósito educativo, citando la fuente, de acuerdo con los derechos de uso de la licencia Creative Commons.



Proyecto cofinanciado con la
Contribución del Programa LIFE
de la Unión Europea

Project co-funded with the
contribution of the LIFE Programme
of the European Union



Bienvenidos

Este manual es parte de una colección de manuales editados y publicados en el seno del proyecto LIFE ReNaturalNZeb - *Materiales y Productos Reciclados y Naturales para desarrollar Edificios de Consumo de Energía Casi Nulo con baja huella de carbono* (LIFE17 ENV/ES/000329) que busca poner en valor los materiales naturales y reciclados para obtener edificios de consumo energético casi nulo, confortables, saludables y sostenibles. En este caso, el manual estará escrito en portugués y español, permitiendo su uso por técnicos y entidades de ambos países.

El objetivo del manual es caracterizar los materiales aislantes térmicos del mercado y dar pautas para elegir las soluciones más sostenibles, con énfasis en el uso de materiales naturales y productos con baja huella de carbono, además de presentar referencias, estudios y empresas de aislamiento, sistemas de aislamiento térmico o productos asociados en Portugal y España.

El Laboratorio Nacional de Energía y Geología (LNEG) es un laboratorio estatal portugués perteneciente al Ministerio de Medio Ambiente y Acción por el Clima que desarrolla I+D orientada a las necesidades de la sociedad y las empresas. Su visión es ser una institución de referencia capaz de contribuir con excelentes soluciones para una economía descarbonizada, teniendo en el área de edificaciones como objetivo general desarrollar estudios de investigación, desarrollo e innovación, en apoyo al desarrollo sustentable del sector de la construcción.



Introducción y objetivos

Este manual está integrado en el proyecto LIFE ReNatural NZEB - *Materiales y Productos Reciclados y Naturales para desarrollar Edificios de Energía Casi Nula con baja huella de carbono* (LIFE17 ENV/ES/000329).

El concepto de nZEB, edificio de “energía casi nula”, es decir, con un rendimiento energético muy alto, tal y como se indica en la Directiva de Eficiencia Energética de los Edificios (EPBD) (UE, 2010), se ha convertido en un requisito crucial y un reto importante en el sector de la construcción, especialmente para arquitectos y diseñadores (Aelenei et al., 2022). En primer lugar, es necesario aumentar la eficiencia energética de los edificios, utilizando soluciones pasivas, y solo después cubrir las necesidades energéticas que aún existen mediante la generación de energía.

Según la definición, las necesidades energéticas que puedan existir deben cubrirse en gran medida con energía procedente de fuentes renovables, incluidas las fuentes producidas en el propio emplazamiento o en sus proximidades (UE, 2010).

Por ello, es muy importante adoptar soluciones y estrategias pasivas, como considerar el aislamiento térmico en la envolvente del edificio, ya que el aislamiento térmico limita las pérdidas e intercambios de calor entre el exterior y el interior del edificio, reduciendo el consumo energético y las emisiones de CO₂, contribuyendo a la eficiencia energética y al confort del hogar.

El principal objetivo del proyecto LIFE ReNatural NZEB es el uso de materiales y productos naturales con baja huella de carbono. En este contexto, el manual tiene como objetivo caracterizar los aislantes térmicos disponibles en el mercado y dar pautas para la elección de las soluciones más sostenibles, con énfasis en el uso de materiales y productos naturales con baja huella de carbono. Se realizará en portugués y español, permitiendo su uso por técnicos de ambos países.

Se divide en 4 capítulos:

- Aislamiento Térmico - importancia y conceptos básicos (capítulo primero);
- Tipos y Aplicación de Aislantes Térmicos (segundo capítulo);
- Aislamiento Térmico en la Rehabilitación Energética de Edificios (tercer capítulo);
- Marco Legislativo y Normativo en Portugal y España (cuarto capítulo).

Cabe señalar que a lo largo del texto hay varios recuadros con una explicación más detallada sobre determinados materiales o productos, o etiquetas o puntos importantes que conviene subrayar.



Introduction and goals

This manual is part of the LIFE ReNatural NZEB project - Recycled and Natural Materials and Products to develop Nearly Zero Energy Buildings with low carbon footprint (LIFE17 ENV/ES/000329).

The concept of nZEB, building “nearly zero energy”, i.e. with a very high energy performance, as indicated in the Energy Performance of Buildings Directive (EPBD) (EU, 2010), has become a critical and important requirement, a challenge in the construction sector, especially for architects and designers (Aelenei et al., 2022). Firstly, it is necessary to increase the energy efficiency of buildings, using passive solutions, and only then to cover the energy needs that still exist through energy generation.

According to the definition, the energy needs should be covered to a large extent by energy from renewable sources, including sources produced on-site or nearby (EU, 2010).

Therefore, it is very important to adopt passive solutions and strategies, such as considering thermal insulation in the building’s surroundings, since thermal insulation limits heat losses and exchanges between the outside and the inside of the building, reducing energy consumption and of CO₂ emissions, contributing to energy efficiency and home comfort.

The main objective of the LIFE ReNatural NZEB project is the use of natural materials and products with a low carbon footprint. In this context, the manual aims to characterize the thermal insulation available on the market and provide guidelines for choosing the most sustainable solutions, with an emphasis on the use of materials and natural products with a low carbon footprint. its use by technicians from both countries.

It is divided into 4 chapters:

- Thermal Insulation - importance and basic concepts (first chapter);
- Types and Application of Thermal Insulators (second chapter);
- Thermal Insulation in the Energy Rehabilitation of Buildings (third chapter);
- Legislative and Regulatory Framework in Portugal and Spain (fourth chapter).

It should be noted that throughout the text there are several boxes with a more detailed explanation about certain materials or products, or labels or important points that should be underlined.

1. Aislamiento térmico - importancia y conceptos basicos

1.1. Importancia del Aislamiento Térmico.....	18
1.2. Conceptos básicos.....	19





2. Tipos y aplicaciones de aislamiento térmico

2.1. Clasificación de aislantes.....	36
2.2. Normas europeas aplicables a los aislantes térmicos.....	62
2.3. Condiciones para seleccionar un aislante térmico.....	63
2.4. ¿Cómo seleccionar un aislante térmico sostenible?.....	67
2.5. ¿Cómo elegir profesionales cualificados?.....	71

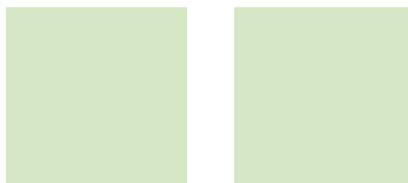
3. Aislamiento térmico en la rehabilitación energética de Edificios

3.1. Introducción.....	74
3.2. Oportunidades.....	75



4. Marco legislativo y reglamentario en Portugal y España

4.1. Portugal.....	80
4.2. España.....	84



5. Referencias bibliográficas

ANEXO 1 - Fabricantes de aislantes térmicos, sistemas de aislamiento o productos asociados en Portugal.....	97
ANEXO 2 - Fabricantes de aislantes térmicos, sistemas de aislamiento o productos asociados en España.....	98

Índice de figuras

Figura 1 - Frontera del sistema termodinámico.....	19
Figura 2 - Diferencias entre sistema abierto y cerrado.....	20
Figura 3 - Mecanismos de transferencia de calor.....	21
Figura 4 - Ejemplo simplificado de mecanismos de transferencia de calor..	21
Figura 5 - Corrientes de convección en una habitación calentada por un radiador.....	23
Figura 6 - Ejemplo de intercambio de calor por convección.....	23
Figura 7 - Interacción del cuerpo humano con el edificio.	25
Figura 8 - Interacción del edificio – Clima local.....	25
Figura 9 - Balance térmico en edificios.....	26
Figura 10 - Balance térmico en la estación fría y en la estación cálida.....	26
Figura 11 - Ejemplo de doble muro con interior de hormigón, que da cuenta de la inercia térmica.....	29
Figura 12 - Ejemplo de puentes térmicos en la caja de persiana (1).....	30
Figura 13 - Identificación de puentes térmicos lineales en un edificio.....	31
Figura 14 - Clasificación de los materiales aislantes según el mecanismo de aplicación, naturaleza de la materia prima y proceso de producción.....	37
Figura 15 - Clasificación de los aislantes naturales según el origen de la materia prima.....	38
Figura 16 - Aplicación de lana de roca en techo.....	39
Figura 17 - Aplicación de lana de roca en las paredes.....	40
Figura 18 - Rollo de lana de vidrio.....	41

Figura 19 - Aplicación de lana de vidrio en el techo.....	41
Figura 20 - Vermiculita Expandida a granel.....	42
Figura 21 - Paneles de vermiculita.....	43
Figura 22 - Perlita Expandida.....	44
Figura 23 - Arcilla Expandida.....	45
Figura 24 - Estructura interna de arcilla expandida.....	46
Figura 25 - Aislamiento con arcilla expandida.....	47
Figura 26 - Fibra de celulosa.....	47
Figura 27 - Aislamiento de techo de celulosa.....	48
Figura 28 - Bosque de alcornoques.....	49
Figura 29 - Aglomerado de corcho expandido.....	50
Figura 30 - Planta de arroz.....	52
Figura 31 - Placas aislantes de cáscara de arroz a) 100% cáscara de arroz, y b) cáscara de arroz en combinación con regranulado de corcho expandido (prototipos).....	53
Figura 32 - Tableros de cáñamo.....	54
Figura 33 - Tableros de fibra de madeira.....	55
Figura 34 - Lana de oveja.....	56
Figura 35 - Tableros EPS.....	57
Figura 36 - Tableros XPS.....	57
Figura 37 - Aislamiento de cubiertas inclinadas con XPS.....	58
Figura 38 - Aplicación de XPS en aislamiento de paredes.....	58
Figura 39 - Elementos de un sistema SATE.....	59
Figura 40 - Características físicas de los principales materiales de aislamientos de los SATE.....	60
Figura 41 - Bloques de hormigón con áridos ligeros.....	61
Figura 42 - Indicación de resultados en función de la posición del aislamiento térmico en las paredes.....	65
Figura 43 - Etiqueta ecológica de la Unión Europea.....	67
Figura 44 - Logotipo de la EUCEB.	68
Figura 45 - Logotipo de Eurofins.....	69
Figura 46 - Selección de materiales aislantes.....	70
Figura 47 - Secuencia ambiental y económica de los materiales aislantes....	70
Figura 48 - Aislamiento de paredes y techos.....	76
Figura 49 - Aislamiento del suelo.....	77
Figura 50 - Evolución de la legislación en la Unión Europea.....	80

1. Aislamiento térmico

Importancia y conceptos básicos





1.1. Importancia del Aislamiento Térmico

En la construcción de edificios nZEB, la introducción de aislamiento térmico en su envolvente es muy importante ya que permite reducir el intercambio de calor por conducción (que generalmente son los más relevantes), contribuyendo a la eficiencia energética y al confort de la vivienda.

El aislamiento térmico es un parámetro importante en la eficiencia energética de una vivienda. Con un espesor reducido, el aislamiento térmico puede introducir una alta resistencia térmica, reduciendo significativamente los intercambios de calor a través de la envolvente (BUS-FORESEE, 2016).

Cuanto más aislados están los elementos del edificio, menos energía se necesita para mantener la temperatura de confort en el interior.

La instalación de aislamiento térmico aumenta la resistencia térmica de la envolvente del edificio, lo que tiene impactos ambientales, sociales y económicos positivos:

- Reduce las pérdidas térmicas y contribuye a un mejor confort térmico;
- Reduce las necesidades energéticas y la consiguiente reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero;
- Reduce el ruido, ya que también mejora el aislamiento acústico de nuestro hogar;
- Reduce los costes asociados al consumo de energía, lo que se traduce en ahorros en calefacción y refrigeración;
- Asegura un ambiente más confortable y saludable, manteniendo la temperatura óptima y evitando la humedad y la condensación.

En pocas palabras, en climas más fríos, se evitan las pérdidas de calor y la casa se mantiene más cálida; en climas más cálidos, el aislamiento térmico ayuda a mantener los espacios más frescos. Y ello sin necesidad de recurrir a otros sistemas de climatización, por tanto, sin costes adicionales.

En situaciones de rehabilitación energética, el uso de aislamiento térmico tiene un valor añadido adicional, como la competitividad del edificio rehabilitado frente a otros edificios similares o el aumento de la durabilidad de la construcción (BUS-FORESEE, 2016).





1.2. Conceptos básicos

Para comprender cómo funciona el aislamiento térmico en un edificio, este subcapítulo presenta algunos conceptos básicos.

La **termodinámica** tiene como objetivo estudiar el cambio en la energía total de un sistema. El análisis termodinámico de un sistema se puede realizar sobre una frontera geométrica “fija” (límite), que puede ser ficticia o real, pero que delimita un volumen finito. Así, las transferencias de trabajo, calor o materia y energía entre el sistema y el medio ambiente pueden tener lugar a través de esta frontera.

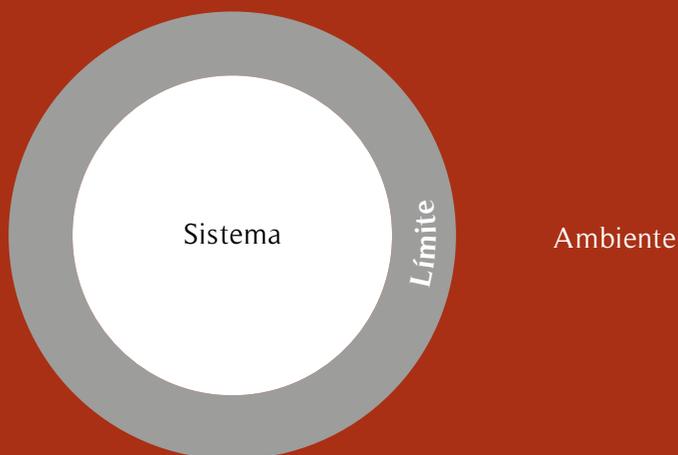


Figura 1 – Frontera del sistema termodinámico.

Hay dos tipos de sistemas termodinámicos: **sistema cerrado**, capaz de intercambiar energía (calor y trabajo), sin importarle su entorno, y **sistema abierto** (Fig. 2).

Sistema Termodinámico

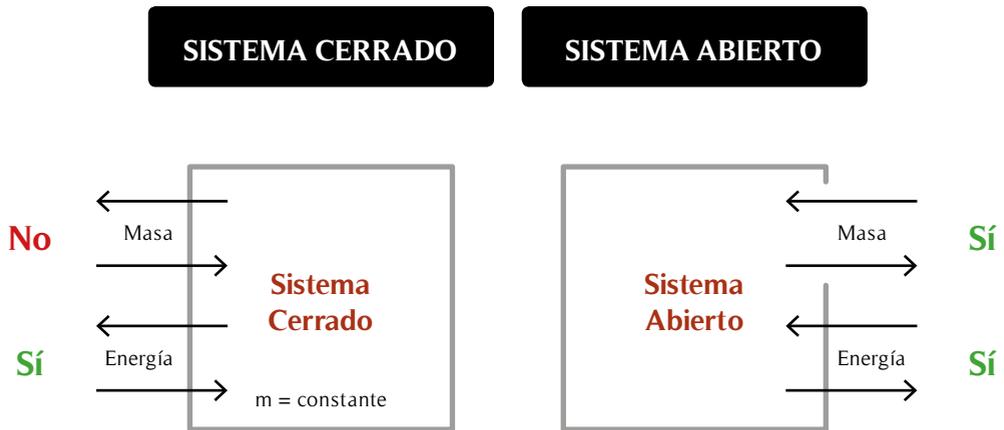


Figura 2 – Diferencias entre sistema abierto y cerrado. Fuente: Aelenei, 2016.

TRANSFERENCIA DE CALOR Y SUS MECANISMOS

La transferencia de calor consiste en el intercambio de energía térmica entre sistemas físicos, dependiendo de la temperatura y la presión, por disipación de calor.

El calor es una cantidad direccional (vector), por lo que tiene tanto una magnitud como una dirección.

Q (J) cantidad de calor transferido

Q (W) tasa de transferencia de calor

En el estudio del comportamiento térmico de los edificios, la transferencia de calor resulta de la combinación de tres mecanismos distintos: **conducción**, **convección** y **radiación** (Figs. 3 y 4).

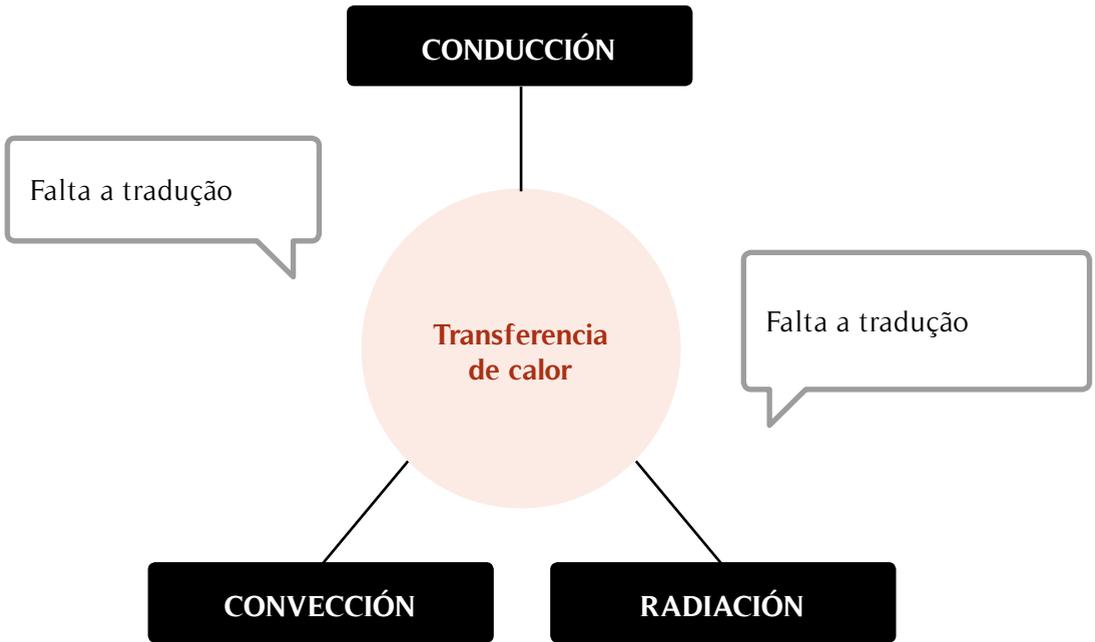


Figura 3 – Mecanismos de transferencia de calor. Fuente: Graça & Duarte, 2016.

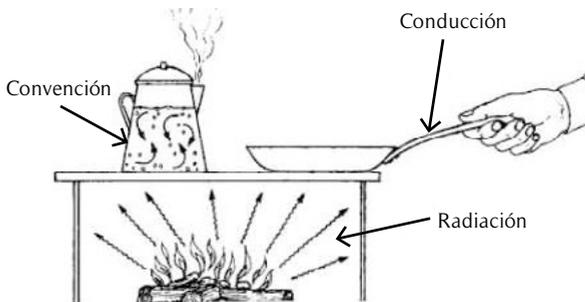


Figura 4 – Ejemplo simplificado de mecanismos de transferencia de calor. Fuente: Grimm (1999).

Conducción térmica

Corresponde a la transferencia de calor entre dos zonas con diferente temperatura y puede ocurrir en cuerpos sólidos o fluidos (es decir, transferencia de energía debido a la actividad molecular).

La ley de conducción térmica se conoce como **Ley de Fourier** y calcula la tasa de transferencia de calor Q_x (W) en función de la conductividad térmica, λ (W/m.K), el área A (m²) y el gradiente de temperatura entre el exterior y el interior (Adene, 2020):

$$Q_x = \lambda \cdot A \cdot T_{\text{exterior}} - T_{\text{interior}}$$

Donde: **Conductividad térmica (λ)** → es la propiedad de un material para conducir el calor.

El calor que atraviesa paredes, suelos y techos se debe al intercambio de calor por conducción. Así, las paredes exteriores, los techos, los suelos y las ventanas pierden calor por conducción cuando la temperatura exterior es baja. Este tipo de intercambio es mayor cuanto menor es la resistencia térmica de la envolvente.

Convección

La transferencia de calor por **convección** es la transferencia de energía entre una superficie y un fluido que se mueve sobre esa superficie (Bergman et al., 2011). La convección es generalmente la forma dominante de transferencia de calor en líquidos y gases.

El movimiento puede resultar de diferencias de presión inducidas por gradientes térmicos (convección natural), o puede ser causado por cualquier causa externa (convección forzada), como el viento o un equipo mecánico (un ventilador, por ejemplo), Fig. 5.

La convección térmica es descrita por la ley de Newton, que establece que la tasa de pérdida de calor de un cuerpo es proporcional a la diferencia de temperatura entre el cuerpo y su entorno (Portal Engenharia Química, 2007).

$$Q_{\text{convección}} = h \times A \times (T_{\text{exterior}} - T_{\text{interior}})$$

Donde: h (W/m² K) - Coeficiente de transferencia de calor.



Figura 5 - Corrientes de convección en una habitación calentada por un radiador.

El calor que pasa a través de grietas y aberturas se debe al intercambio de calor por convección, Figura 6.



Figura 6 - Ejemplo de intercambio de calor por convección.

Radiación

La radiación térmica es la energía emitida por la materia a través de ondas electromagnéticas, debido a la energía térmica existente en toda materia, siempre que tenga una temperatura superior al cero absoluto.

No hay necesidad de un medio de transporte, ya que todos los organismos envían y reciben radiación en función de su temperatura absoluta. Es emitido por un cuerpo a cualquier temperatura.

La radiación se propaga a la velocidad de la luz, teniendo las siguientes características: frecuencia y longitud de onda:

$$c = \lambda \times f$$

λ - longitud de onda (m o μm)

f - frecuencia (Hz ou s-1)

La transferencia de calor por radiación térmica se produce a través de sólidos, líquidos y gases y en el vacío. La energía radiante que emite un cuerpo está dada por la Ley de Stefan-Boltzmann (Josef Stefan 1835-1893, Ludwig Boltzmann 1844-1906) aplicada a un cuerpo real (Portal Engenharia Química, 2007):

$$Q_{\text{radiación}} = \sigma \cdot \epsilon \cdot A \cdot T_s^4$$

Donde $\sigma=5,67 \times 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$ es la constante de Stefan-Boltzmann, ϵ , la emisividad de la superficie emisora ($0 < \epsilon \leq 1$), A, su área y T_s su temperatura absoluta (K).

En los edificios, el calor de radiación se concentra principalmente en el acristalamiento y las paredes exteriores.

PRINCIPIOS BÁSICOS DEL BALANCE ENERGÉTICO Y TÉRMICO EN EDIFICIOS

El desempeño del edificio en términos de necesidades energéticas se evalúa como la cantidad total de energía necesaria (en un período de tiempo determinado, por ejemplo, un año) para mantener una determinada temperatura (considerando criterios de confort) en el ambiente interior.

Los principales parámetros en **la interacción cuerpo humano-clima-edificio** y para una mejor comprensión del balance térmico son:

- *La radiación solar* → hace subir la temperatura interior.
- *La temperatura del aire* → influye en el intercambio de calor (ganancias/pérdidas).
- *Humedad relativa* → influye directamente en el confort higrotérmico.
- *Precipitación* → puede cambiar las propiedades físicas de la envolvente del edificio.
- *Viento* → influye en la ventilación del edificio.
- *Características del cielo* → influyen en el intercambio de calor por radiación.

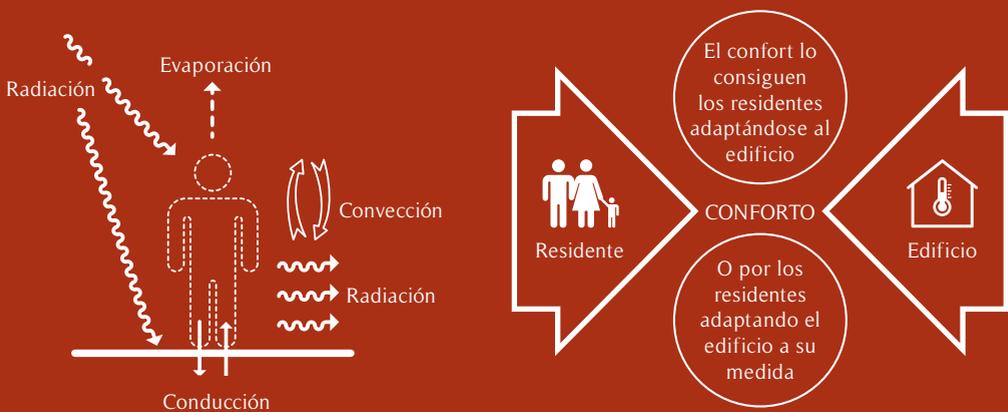


Figura 7 - Interacción del cuerpo humano con el edificio.

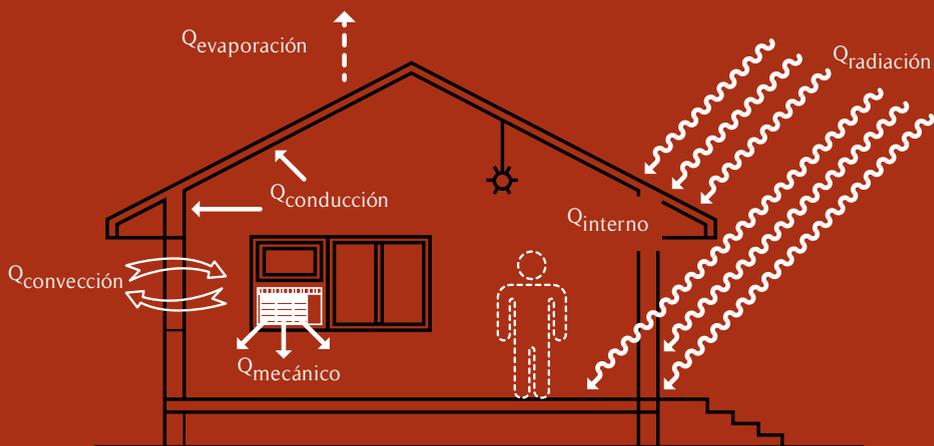


Figura 8 – Interacción del edificio – Clima local. Fuente: Adaptado de Joseph et al., 2015

BALANCE TÉRMICO

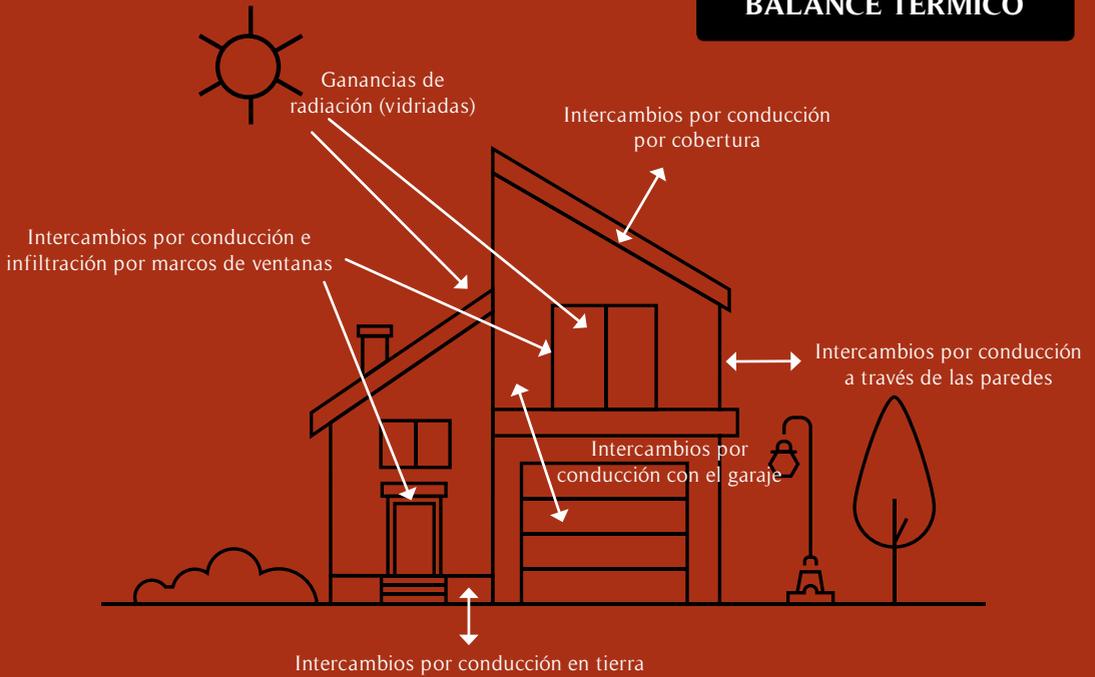


Figura 9 - Balance térmico en edificios.

ESTACIÓN FRÍA

- Pérdidas de calor por conducción a través de la envolvente;
- Pérdidas de calor por convección resultantes de la ventilación, infiltración;
- Ganancias solares a través de las zonas acristaladas;
- Ganancias internas (equipamiento, iluminación).

ESTACIÓN CÁLIDA

- Ganancias de calor a través de la envoltura opaca por efecto de la radiación solar;
- Ganancias solares por zonas acristaladas y envolvente;
- Ganancias internas por residentes, equipamientos e iluminación artificial.

Figura 10 – Balance térmico en la estación fría y en la estación cálida. Fuente: Aelenei, 2011.

Así, cuando se analizan los intercambios de calor en un edificio o en una parte independiente, se verifica la existencia de intercambios de calor por la envolvente, es decir, a través de acristalamientos, paredes, cubiertas y suelos, que dependerá del valor del coeficiente de transmisión térmica de estos elementos (Figs. 8, 9, 10). En Portugal, las necesidades de calefacción en invierno pueden reducirse con una mayor resistencia térmica de la envolvente y en verano las necesidades de refrigeración pueden reducirse controlando las ganancias solares (BUS-FORESSE, 2016)

La energía producida dentro del cuerpo se llama actividad metabólica y depende del tipo de trabajo realizado. La unidad utilizada para caracterizar la actividad metabólica es el Met o Watt (más técnico), que es el calor que desprende una persona en reposo - 100 W. Considerando que en promedio la piel de las personas tiene una superficie de $1,8 \text{ m}^2$, 1 Met corresponde a $58,2 \text{ W/m}^2$ (Graça, 2016a).

Caja 1

La ropa impone una resistencia térmica entre el cuerpo y el ambiente, representando una barrera al intercambio de calor. Se puede medir en clo o en $\text{m}^2\text{C/W}$ – más técnico ($1 \text{ Clo} = 0.155 \text{ m}^2\text{C/W}$), que es el índice de resistencia térmica de la ropa. Tenga en cuenta que la escala Clo fue diseñada para que una persona desnuda tenga un valor Clo de 0,0 y que alguien vestido con un traje típico de negocios tenga un valor Clo de 1,0 (Graça, 2016a).

Caja 2

CONFORT TÉRMICO Y VARIABLES DE CONFORT TÉRMICO

Cuando el calor producido por el metabolismo es igual al calor que se disipa, la persona siente una sensación de neutralidad. Por lo tanto, las personas se sienten cómodas cuando se cumple la ecuación básica de “confort térmico”:

calor generado = calor emitido

La temperatura del cuerpo humano en condiciones saludables puede oscilar entre $36,1^\circ\text{C}$ y $37,2^\circ\text{C}$. El calor se puede disipar a través de la piel y la respiración.

Las variables ambientales que determinan el confort térmico son: la temperatura del aire (la más importante), la radiación, la velocidad del aire y el contenido de humedad del aire.

Además, nos quedan las variables individuales o personales, que son la actividad metabólica y la vestimenta.

Existen varios métodos para evaluar el confort térmico, pero el más conocido y aceptado es el *Predicho. Voto medio* (PMV) o Voto medio estimado (VME), desarrollado por el profesor danés Ole colmillo _ Este método permite estimar el porcentaje de personas insatisfechas.

Un valor de $VME=0$ da como resultado un 5% de personas insatisfechas, por lo que nunca puede haber personas 100% satisfechas.

Según Graça (2016a), se debe prestar atención a:

- i. *El consumo de un edificio siempre se calcula en función del nivel de confort requerido;*
- ii. *El consumo teórico, que los ingenieros calculan al diseñar el HVAC, se puede definir como la cantidad de energía necesaria para alcanzar y mantener una cierta temperatura de confort dentro de ese edificio;*
- iii. *La condición de confort a menudo se simplifica para usar solo la temperatura del aire;*
- iv. *Los demás parámetros tienden a alcanzar un punto de estabilidad cercano a la temperatura del aire, ya que es la variable que más influye en el confort térmico;*
- v. *En algunos casos, a pesar de que la temperatura del aire corresponde a los requisitos de confort térmico, no se logra el confort. Por ejemplo, cuando hay muchas influencias asimétricas en los distintos parámetros involucrados. En estos casos se debe realizar un estudio detallado de todas las variables que influyen en las condiciones de confort.*

NOCIÓN DE ADAPTACIÓN

La **comodidad adaptativa** expresa la aclimatación del cuerpo humano; que se puede definir como la capacidad humana para adaptarse a las condiciones climáticas (Graça, 2016b).

Por lo tanto, las personas que viven en climas más cálidos pueden soportar mejor las temperaturas más altas; y las personas que viven en regiones más frías toleran mejor las temperaturas más bajas.

NOCIÓN DE INERCIA TÉRMICA

La **Inercia térmica** corresponde al grado de lentitud con que la temperatura de un cuerpo se acerca a la de su entorno. Depende de su capacidad de absorción, su calor específico, su conductividad térmica y sus dimensiones, entre otros factores (Graça, 2016b). La inercia térmica es principalmente un fenómeno de conducción.

¿Cómo funciona la inercia?

La inercia térmica en la construcción está relacionada con la transferencia de calor entre el ambiente exterior y el interior.

La aplicación de la inercia térmica en los edificios proporciona un retraso en el pico máximo y mínimo de la temperatura interior. Por ejemplo, en invierno es importante que la pared exterior conserve su temperatura y luego la libere durante la noche, cuando sea necesario.

La inercia térmica depende directamente de la masa del edificio en contacto con el ambiente interior. Por tanto, el aislamiento interior anula la inercia térmica (el calor debe irradiar libremente) y el aislamiento exterior es la solución con mayor inercia térmica.

La optimización de esta técnica asegura el confort térmico en el interior del edificio y está ligada a los materiales utilizados.

La inercia térmica de los materiales de construcción pesados es capaz de almacenar la temperatura media deseada y permitir que se irradie hacia los ambientes interiores para hacerlos más confortables (Tirone & Nunes, 2010). Así, los materiales masivos como el hormigón y la mampostería tienen mayor conductividad, por lo tanto, si la edificación cuenta con estos materiales, el calor será almacenado y transmitido posteriormente al interior de la edificación (Figura 11).

Otro aspecto positivo de la inercia térmica es que funciona sin necesidad de ningún sistema activo y por tanto no tiene costes de explotación.

En cuanto al clima, las **casas en climas cálidos y secos con un gran rango de temperatura** entre el día y la noche necesitan construcción masiva y almacenamiento térmico, por lo tanto, edificios con alta inercia térmica. Las viviendas en **climas cálidos y húmedos** necesitan elementos constructivos livianos, de baja inercia y alta ventilación (Graça, b, 2016).

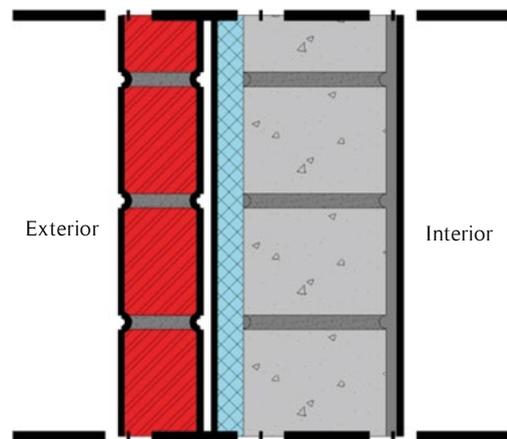


Figura 11 - Ejemplo de doble muro con interior de hormigón, que da cuenta de la inercia térmica. Fuente: © Laboratorio Nacional de Energía y Geología – LNEG, IP

NOCIÓN DE PUENTES TÉRMICOS

En la envolvente de un edificio existen numerosas zonas donde se producen cambios en la geometría de los elementos constructivos, en las propiedades de los materiales (por ejemplo, la conductividad térmica), que afectan a la dirección del flujo de calor y dan lugar a cambios bidimensionales o flujos de calor tridimensionales. Estas áreas circundantes constituyen los llamados puentes térmicos.

Son zonas frágiles de la envolvente térmica con mayor flujo de calor, porque el flujo de calor sigue el camino de menor gasto energético, es decir, busca el camino en el que la resistencia térmica es menor.

Los puentes térmicos se pueden dividir en puentes térmicos planos y puentes térmicos lineales.

Puentes Térmicos Planos (PTP) – *Heterogeneidades constructivas y térmicas de la envolvente, en las que el flujo térmico es unidimensional y perpendicular a la superficie. Ej: vigas, pilares, cajas de persiana y canalones empotrados en el techo* (BUS-FORESEE, 2016), Fig. 12

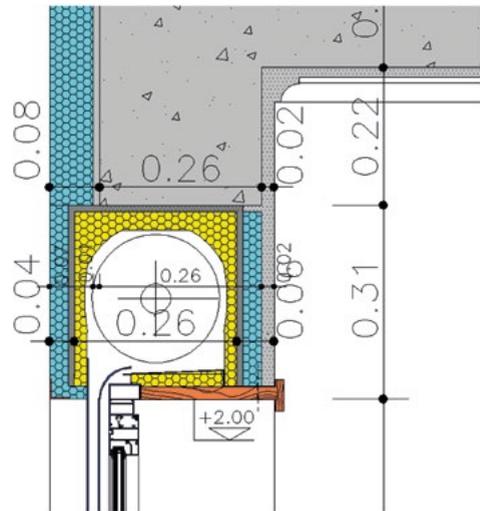


Figura 12 - Ejemplo de puentes térmicos en la caja de persiana (1). Fuente: © Laboratorio Nacional de Energía y Geología – LNEG, IP

Puentes Térmicos Lineales (PTL) – *Discontinuidad del aislamiento térmico o conexión entre dos elementos constructivos diferentes en la envolvente del edificio. Ej: Fachada con balcón, fachada con planta baja, fachada con marcos de ventanas, fachada con techo, dos paredes verticales en ángulo de proyección* (BUS-FORESEE, 2016). Son la mayoría de los puentes térmicos existentes en la construcción actual en Portugal. Fig. 13).

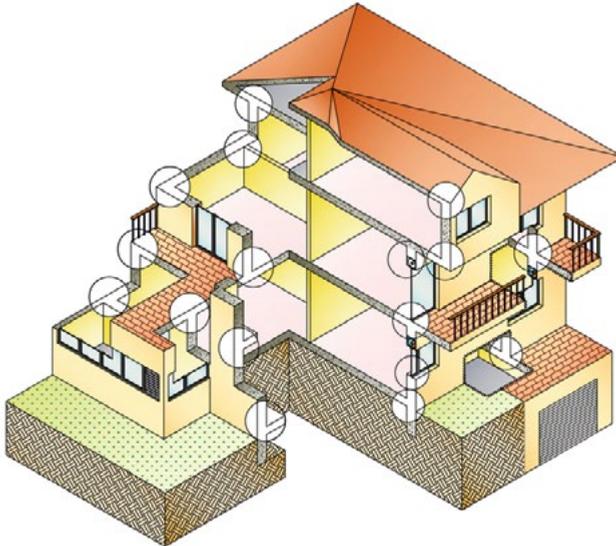


Figura 13 - Identificación de puentes térmicos lineales en un edificio. Fuente: Itcons , 2011.

Los puentes térmicos pueden ser un factor importante en la reducción de la calidad térmica de un edificio, no solo por el aumento de las pérdidas (ganancias) de calor, sino también porque aumenta el riesgo de condensación.

Según Passivhaus , Portugal (2020):

- A través de una imagen termográfica es posible identificar un puente térmico incluso antes de que se manifieste a través de la formación de patologías.
- ¡Hasta el 30% de las pérdidas de energía de un edificio pueden ser causadas por puentes térmicos!

Así, la potencial existencia de puentes térmicos debe ser identificada y corregida en la fase de diseño mediante la elección de soluciones constructivas, en el entorno opaco, que eviten los puentes térmicos, y especificando todos los detalles constructivos para que las soluciones sean fáciles de implementar en obra.

VALORES DE U Y R

La especificación de aislamiento generalmente se expresa en términos de un valor de U.

Valor U (coeficiente de transmisión térmica) → índice global de transferencia de energía a través de un m² de un elemento de construcción determinado cuando las temperaturas del aire en ambos lados difieren en 1°C. Se mide en W/m² K.

Para algunas situaciones, es más útil referirse a las resistencias térmicas o al valor R.

El valor R (resistencia térmica) → depende de la conductividad térmica (λ) y el espesor (d):

$$R = \frac{d}{\lambda} \text{ e se mide en m}^2 \cdot \text{K/W.}$$

Las conductividades térmicas de los materiales aislantes son publicadas por los fabricantes, cuanto menores sean los valores de λ mejor. Se expresa en W/m.K o W/m.°C.

La resistencia – R de cada componente (así como las resistencias de las cavidades y superficies) se utilizan para calcular la resistencia térmica total o el valor R del elemento estructural.

U–Transmisión térmica es la inversa de R–Resistencia térmica, lo que significa que ofrece más resistencia al paso de la energía (calor/frío): $U=1/R$.

El valor de U siempre se refiere al conjunto de materiales (suma), en función de su conductividad térmica (λ) y su espesor.

Cuanto menor sea la transferencia de calor (valor U), mayor será la capacidad aislante del sistema.

Así, los materiales aislantes son aquellos que tienen una conductividad térmica inferior a 0,060 W/m.K o una resistencia térmica superior a 0,25m².K/W (Montoya, 2007 en Gil, 2015; Sistema DAP Habitat, 2022).



Sin embargo, otros materiales que no tienen estas características (por ejemplo, granulados ligeros a granel u hormigón ligero) también pueden asegurar y/o contribuir al aislamiento térmico de edificios y otras obras de construcción y, por tanto, se incluyen en esta categoría de productos.

Entonces, ¿cuáles son las características de un buen aislante térmico?

- Baja conductividad térmica: cuanto menor sea la conductividad térmica (λ) mejor será el rendimiento de aislamiento del material.
- Alta resistencia térmica: cuanto mayor sea la resistencia térmica R, mejor será el rendimiento de aislamiento del material.
- Bajo coeficiente de transferencia de calor: cuanto menor sea el valor U, mejor será el rendimiento de aislamiento del material.



2. Tipos y aplicaciones de aislamiento térmico





Los materiales de aislamiento térmico, llamados aislantes, pueden tener varias clasificaciones (Fig.14).

En cuanto a la naturaleza de las materias primas, se pueden clasificar en aislantes naturales, sintéticos y mixtos.

En cuanto al tipo de proceso productivo, se pueden clasificar, según su constitución y la aplicación final, en aislantes prefabricados (bloques, paneles, placas, mantas y otras formas bajo pedido) y aislantes “*in situ*” (moldeados, inyectados, diseñado y a granel). Los aislantes prefabricados se aplican mediante fijación mecánica, encolado, colocación libre, encofrado perdido y aplicación en la base del molde (IPT - ESTT, 2022).

En función de su estructura, también pueden denominarse celulares, fibrosos, compactos, granulares, de estructura mixta y multicapa.

2.1 Clasificación de aislantes

Las técnicas y materiales aislantes a utilizar dependen de los elementos constructivos a aislar.

Los aislantes se pueden aplicar en techos, paredes exteriores e interiores, suelos, cámaras de aire, entre otros.

En cuanto al mercado europeo (Ardente et al., 2008), parece que este está dominado por materiales minerales o inorgánicos, con un 60 % (p. ej., lana mineral), seguido de sintéticos con un 30% (p. ej., o EPS - poliestireno expandido) y materiales de origen natural y de nueva tecnología con un 10% (p.ej. o ICB – panel de aislamiento de corcho).

En este subcapítulo analizaremos las propiedades y las principales ventajas y desventajas de algunos aislantes, seguido de la clasificación de los materiales aislantes en función del origen de sus materias primas (Fig. 15).

Cabe señalar que los valores de las propiedades físicas presentados son solo de referencia, ya que estos valores dependen de los materiales utilizados en el proceso de fabricación y de la forma presentada.

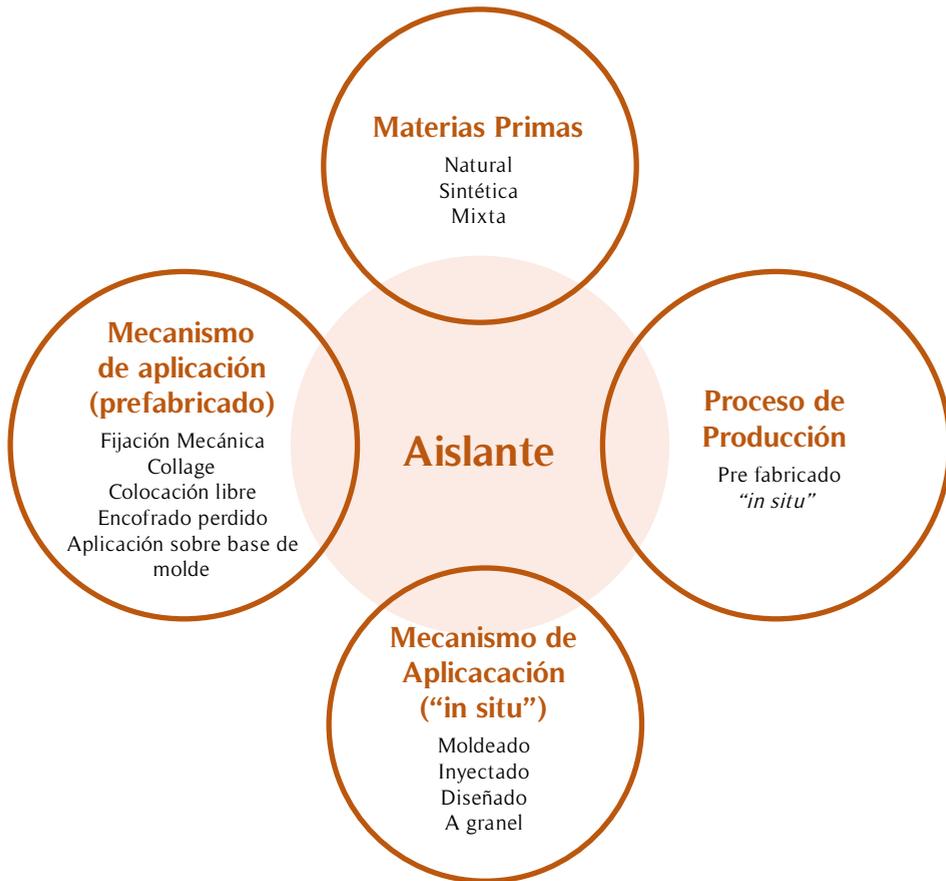


Figura 14 - Clasificación de los materiales aislantes según el mecanismo de aplicación, naturaleza de la materia prima y proceso de producción.

2.1.1 Aislantes Naturales

La materia prima puede ser de origen orgánico y no orgánico.

Los aislantes de origen orgánico (cáñamo, corcho, celulosa, plumas, lana de oveja, etc.) pueden ser materiales de origen vegetal o animal.

Los aislantes de origen no orgánico corresponden a los aislantes minerales producidos a partir de materiales minerales (roca volcánica, arena, vidrio reciclado, etc.) calentados a alta temperatura, por ejemplo, lana de vidrio, lana de roca, arcilla expandida, vermiculita, perlita, etc.).

En la figura 15 se presentan los principales aislantes naturales, según el origen de su materia prima y también se indican algunos ejemplos de cada categoría.

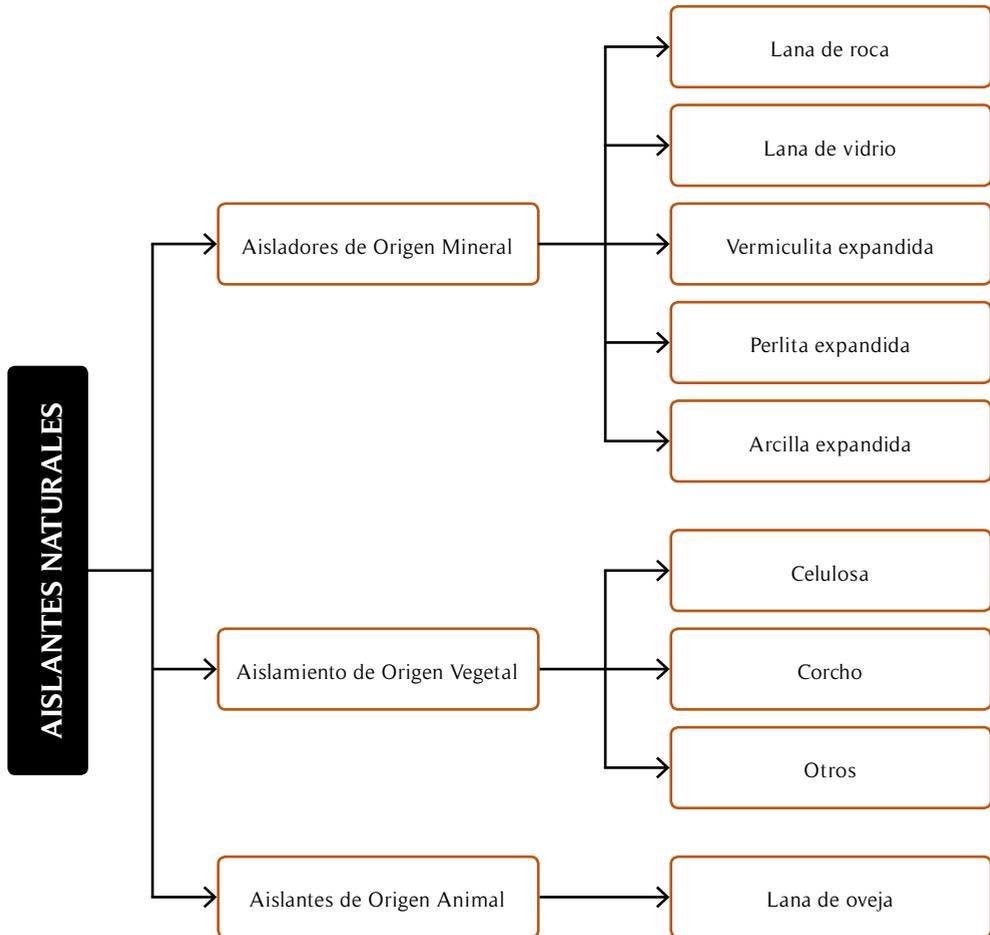


Figura 15 - Clasificación de los aislantes naturales según el origen de la materia prima.



I. AISLANTES DE ORIGEN MINERAL

Lana de roca

Los minerales son la materia prima de la lana de roca, por ejemplo, el basalto y la caliza. Éstas al ser expuestas a altas temperaturas, de unos 1500°C, se derriten y se transforman en filamentos.



Figura 16 - Aplicación de lana de roca en techo.

Luego, las fibras se aglomeran con resinas orgánicas y aceites impermeabilizantes. La última etapa del proceso de fabricación es la compactación y dependiendo del grado de compactación, el producto final puede ser flexible o rígido. (DOCEOBRA, 2022).

La lana de roca se produce con materiales 100% naturales y se puede reciclar varias veces, manteniendo sus propiedades y sin pérdida de calidad. (ULMA Arquitectura Soluciones, 2022).



Figura 17 - Aplicación de lana de roca en las paredes.

En el mercado se comercializan en forma de mantas y paneles semirrígidos (Figs. 16, 17).

Las principales ventajas de la lana de roca son: durabilidad, resistencia al fuego, material ligero y versátil, posee propiedades como aislamiento térmico y acústico debido a su estructura fibrosa que, combinada con su alta densidad (entre 40 y 100 kg/m²), le confiere un comportamiento ideal como aislante acústico (absorción de ruido aéreo y ruido de impacto), (ULMA Arquitectura Soluciones, 2022).

Tiene el inconveniente de presentar un bajo rendimiento térmico en presencia de humedad. Los trabajadores deben usar protección durante su colocación (Silva, 2013).

La conductividad térmica de este material oscila entre 0,033 y 0,040 W/m.K, (Eurocoustic , Saint - Gobain , 2022).

Los paneles de lana de roca tienen múltiples aplicaciones, destacando el aislamiento térmico y acústico de naves industriales y la protección contra incendios (utilizado en estructuras de edificación y paneles de puertas resistentes al fuego) (Termolan , 2016).

Lana de vidrio

La lana de vidrio es una fibra mineral hecha de vidrio fundido (Fig. 18). El proceso involucra temperaturas entre 1100°C y 1450°C y las principales materias primas son: vidrio reciclado, arena y aditivos que, después de ser mezclados, pasan a la fase líquida. En esta etapa, se someten a un enfriamiento de alta

velocidad, dando lugar a filamentos con los tamaños y diámetros deseados (InfoEscola, 2022).

La lana de vidrio sólo debe ser aplicada por técnicos que conozcan las características de su estructura y entiendan la mejor manera de aplicar la lana de vidrio en el elemento constructivo (Fig. 19). No propaga llamas, pero no resiste incendios con temperaturas superiores a 800°C (DOCEOBRA, 2022).



Figura 18 - Rollo de lana de vidrio.



Figura 19 - Aplicación de lana de vidrio en el techo.

Presenta pobre desempeño mecánico y térmico en presencia de humedad (Silva, 2013).

La conductividad térmica de la lana de vidrio es similar a la de la lana de roca. Los valores típicos de conductividad térmica para lana de vidrio están entre 0,023 W/m.K y 0,040 W/m.K (Nick Connor, 2019a).

Vermiculita Expandida

La vermiculita es un mineral similar a la mica, formado esencialmente por silicatos hidratados de aluminio y magnesio (Fig. 20).



Figura 20 - Vermiculita Expandida a granel

Los silicatos al ser sometidos a temperaturas de 800°C, el agua contenida entre las palas se convierte en vapor haciendo que las partículas se hinchen, sufre expansión y se fragmenta, convirtiéndose en escamas. Este proceso de expansión se denomina exfoliación, dando lugar al producto denominado Vermiculita Expandida, que es un material de color marrón claro, dorado (Wikipedia, 2020).

La característica principal es su alta higroscopicidad, es decir, su gran capacidad de absorción de agua. Tiene la capacidad de absorber alrededor de 5 veces su valor de masa.

Es un buen aislante acústico, es un material no tóxico, tiene baja conductividad térmica y resistencia al fuego, y puede considerarse incombustible dado que su punto de fusión se sitúa en torno a los 1315°C . (Silvia *et al*, 2016). Sin embargo, es un material con mal comportamiento en presencia de humedad (Silva, 2013).

También es un buen aislante térmico ya que su coeficiente de conductividad térmica en masa se encuentra entre 0,05 - 0,07 W/m.K, variando con el tamaño de las fracciones y la densidad del compactador, (Buildex techinfus, 2021). En el mercado, la vermiculita se puede vender a granel o en paneles aglomerados (Fig. 21).

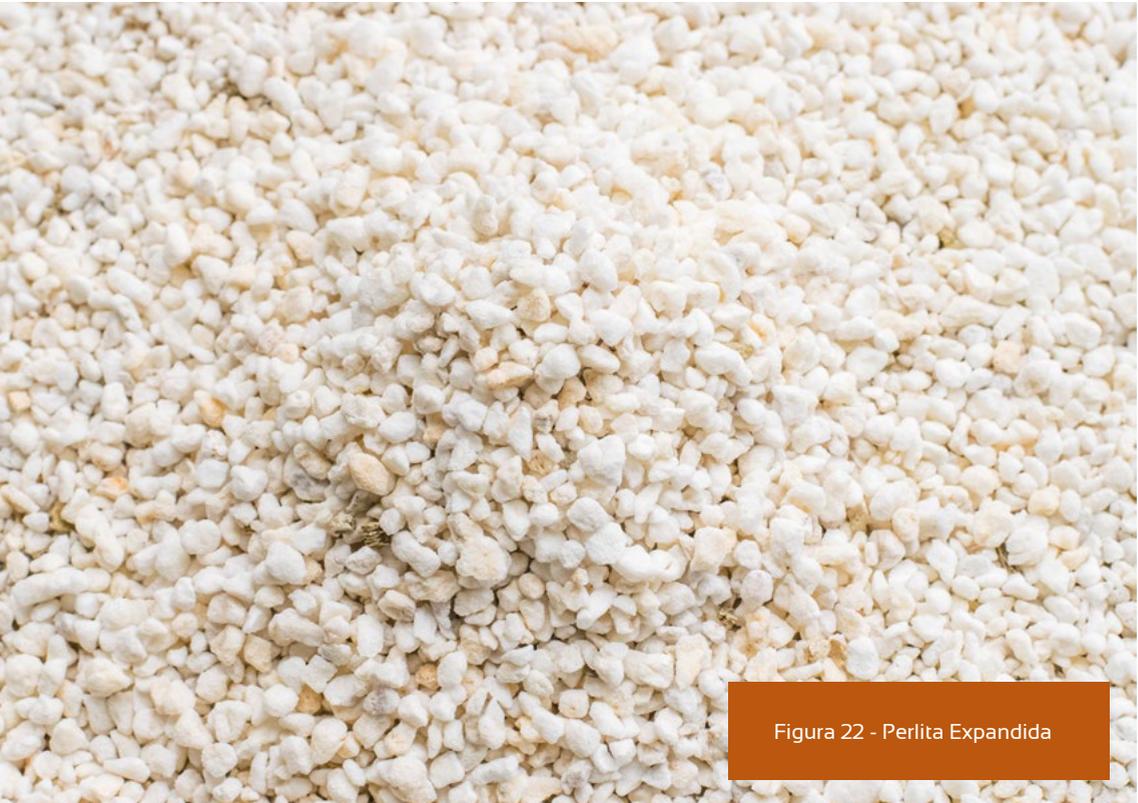


Figura 21 - Paneles de vermiculita

La vermiculita expandida se utiliza para sustituir la arena en hormigones o morteros, obteniendo mezclas más ligeras y con mejores propiedades de aislamiento térmico y acústico.

Perlita Expandida

Perlita es el nombre genérico de la roca volcánica silíceo natural (Fig. 22).



Es un vidrio volcánico amorfo que tiene un contenido de agua relativamente alto, normalmente formado por la hidratación de la obsidiana.

Su principal característica es que se expande mucho y por lo tanto cuando se calienta por encima de los 850°C, el agua atrapada en la estructura del material se vaporiza y hace que el material se expanda de 7 a 16 veces su volumen original. Se producen pequeñas burbujas parecidas al vidrio que tienen un color blanco brillante, debido a la reflectividad de las burbujas en su estructura. Esta estructura explica su bajo peso específico.

Tiene buen desempeño como aislante térmico y acústico, con conductividad térmica de $\lambda = 0.040$ a 0.070 W/(mK) (Wikipedia, 2021).

Otra propiedad de este material es que es químicamente inerte, no combustible y no biodegradable.

Por su naturaleza inorgánica y su bajo valor de coeficiente de conductividad térmica, puede ser utilizado en la producción de hormigones y morteros, permitiendo aumentar las características de aislamiento térmico y acústico.

Arcilla Expandida



Figura 23 - Arcilla Expandida.

La arcilla expandida es un material cerámico producido a partir de una materia prima que se encuentra en la superficie terrestre, la arcilla (Fig. 23).

Se produce en un proceso donde la arcilla natural se somete a altas temperaturas (1100 - 1200 °C) en el horno. En este proceso de “combustión” la arcilla se expande dando lugar a granos de arcilla expandida. Estos, tras ser enfriados y pasar por un proceso de tamizado, son empacados de acuerdo con su granulometría, la cual puede variar entre 5 y 32 mm (CINEXPAN, 2020).

Internamente, la estructura está formada por una espuma cerámica con microporos y cubierta por una cáscara rígida, similar a una piedra redondeada.

La figura 24 muestra un corte transversal de piedras de arcilla donde se puede ver la estructura del núcleo de panal.



Figura 24 - Estructura interna de arcilla expandida.

Sus principales características son: material inerte y liviano debido a que la arcilla expandida tiene una estructura interna porosa. Sin embargo, debido a su estructura externa compacta y rígida, tiene excelente resistencia mecánica y puede ser utilizada en morteros y hormigones. Su uso está recomendado para cubiertas planas y sótanos.

Tiene buenas propiedades como material térmico presentando un bajo valor de conductividad térmica, entre 0,103 e 0,108 W/m.K (Silva, 2013). Es un material no combustible, que tiene buenas propiedades como aislante acústico debido a su estructura celular y porosa (Fig. 25). Además es un material con una gran durabilidad en el tiempo, no deteriorándose.





Figura 25 - Aislamiento con arcilla expandida.

II. AISLANTES DE ORIGEN VEGETAL

Fibra de celulosa



Figura 26 - Fibra de celulosa.

El aislamiento de celulosa se produce a partir de papel de desecho, principalmente periódicos, que se reciclan (Fig. 26).

El proceso de fabricación comienza con la selección del papel, después el papel se tritura y se somete a un tratamiento químico con la adición de productos ignífugos, dando como resultado un material resistente al fuego. Las fibras de celulosa obtenidas tienen una estructura similar a la lana, un copo largo de fibra, por lo que a menudo se les llama lana de papel (Fig. 27).

Una de las principales ventajas es su baja conductividad térmica. Los valores típicos de conductividad térmica para el aislamiento de celulosa oscilan entre 0,022 y 0,035 W/m.K (Nick Connor, 2019b).

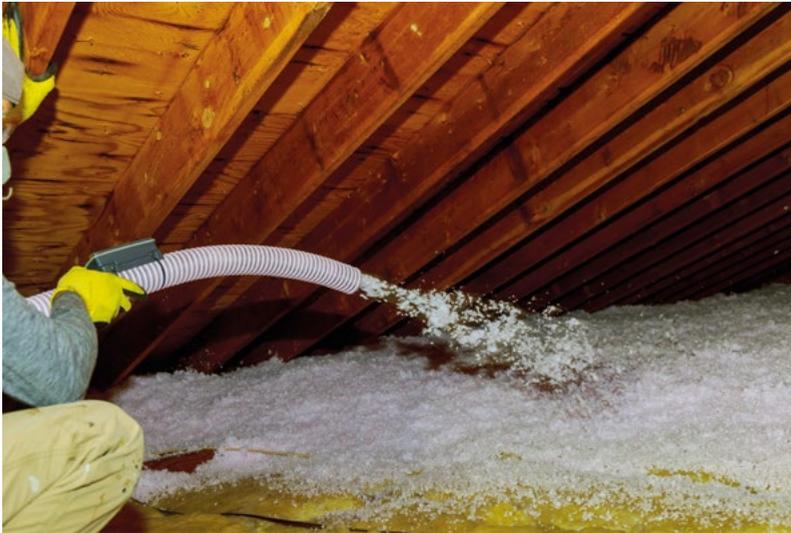


Figura 27 - Aislamiento de techo de celulosa.

La celulosa evita la condensación y la aparición de moho en el interior de las viviendas y, en términos medioambientales, contribuye a reducir el flujo de residuos y dar un nuevo uso al papel desechado.

La fibra de celulosa como material de relleno suelto se puede utilizar en techos, paredes y en zonas de difícil acceso, en construcciones nuevas y también en obras de rehabilitación .





Figura 28 - Bosque de alcornoques

Corcho

El corcho es un producto natural de origen vegetal que procede del alcornoque (*Quercus suber*). El Alcornoque está muy extendido por toda la cuenca mediterránea y con gran relevancia en Portugal, con especial incidencia en las zonas Centro y Sur del país. Portugal produce alrededor del 55% de la producción mundial de corcho.

La constitución química del corcho engloba varios tipos de compuestos, que tradicionalmente se dividen en cinco grupos y cuyos valores típicos (% en peso) son los siguientes (Gil, 1998; 2005 en Gil, 2015):

- a) *suberina* (38% a 45%) – componente principal y responsable de su compresibilidad y elasticidad;
- b) *lignina* (27%) - estructura de la pared celular;
- c) *polisacáridos* (12% a 18%) - también ligados a la estructura del corcho;
- d) *ceroides* (6% - 7%) - repelen el agua y contribuyen a la impermeabilidad;
- e) *taninos* (6% - 8%) - protección del material, y
- f) *ceniza* (3% - 4%).

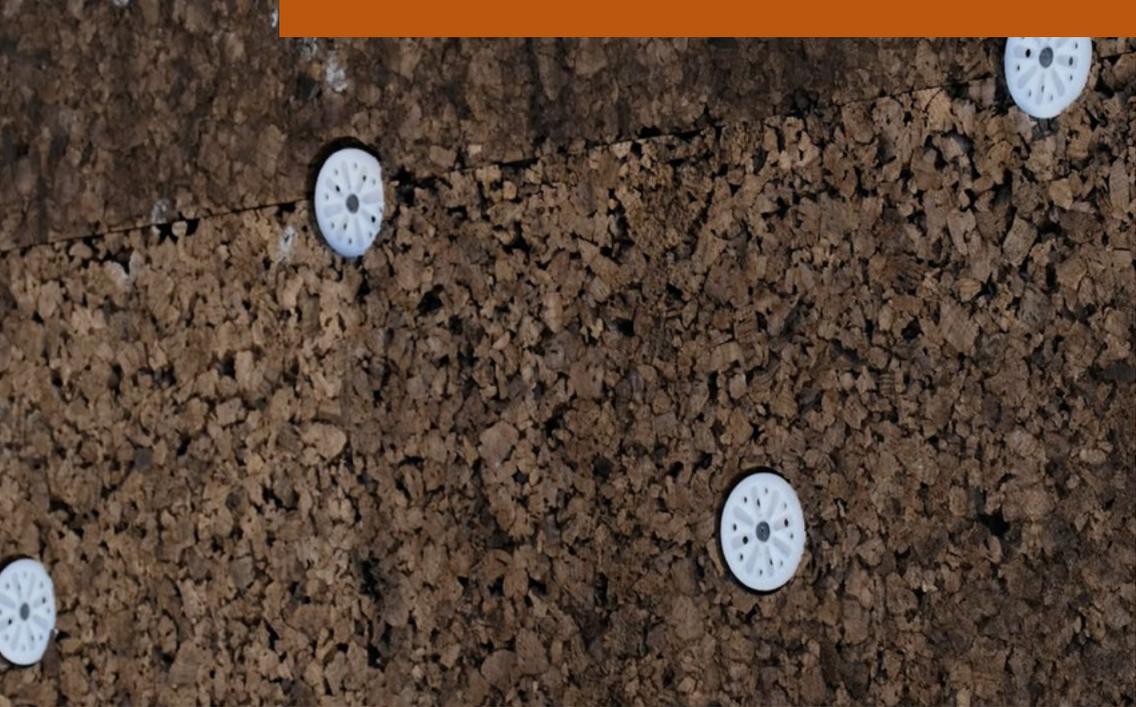


Figura 29 - Aglomerado de corcho expandido.

Un producto de corcho ampliamente utilizado en la construcción civil es el aglomerado de corcho expandido Fig. 29). El aglomerado de corcho expandido, también conocido como corcho aglomerado negro o por el nombre inglés ICB (*Insulation Cork Board*), es un producto compuesto por gránulos de corcho expandido. El ICB se produce en placas con diferentes espesores, según la aplicación.

El aglomerado de corcho expandido se produce mediante la aglutinación de los gránulos de la materia prima que se realiza exclusivamente por la expansión volumétrica y la exudación de las resinas naturales del corcho, por acción de la temperatura transmitida por el vapor de agua. Así, se produce un aglomerado en el que no se utilizan colas, pinturas ni aditivos, estando formado únicamente por corcho, por lo que también se denomina corcho aglomerado puro.

La materia prima utilizada es la falca, un tipo de corcho obtenido de la poda cíclica de los alcornoques.

El Aglomerado de Corcho Expandido - ICB es un excelente aislante térmico, acústico y antivibratorio, apto para todos los sistemas constructivos.

Su uso tradicional es para aislamiento térmico y acústico en fachadas - Sistema ETICS y revestimiento exterior visto. También se usa en paredes interiores y exteriores; paredes dobles, cubiertas planas e inclinadas; losas y suelos; cámaras de refrigeración, conservación y congelación; aislamiento de vibraciones y aislamiento sonoro de reverberaciones y ruidos de percusión.

Al final del período de uso, normalmente por el final de la vida útil del propio edificio o por el reciclaje de tableros no conformes, existe otro producto, que es el corcho regranulado.

Este regranulado se comercializa para aligerar estructuras de hormigón (hormigón ligero con regranulado expandido) o incluso para la fabricación de piezas/bloques de construcción, o para llenar espacios vacíos entre paredes dobles, en cámaras de aire o techos.

En cuanto a las propiedades físicas, el corcho aglomerado tiene una conductividad térmica entre 0,040-0,045 W/m.K, (Gil, 2015).

En las operaciones de elaboración de productos de corcho también se produce un importante residuo, el polvo de corcho. Este polvo suele quemarse para producir vapor y/o energía, dado el alto contenido energético de este material.

El corcho es un **producto ligero** porque alrededor del 50% del volumen del corcho es aire, **reciclable y biodegradable, impermeable** a gases y líquidos, **elástico y comprimible, no alimenta la propagación de la llama, resistente al rozamiento** y con excelentes propiedades **aislantes térmico, acústico y vibratorio**. También es **permeable al vapor**, permitiendo que las casas respiren, evitando así la condensación en su interior.

En una materia prima **renovable**, ya que se renueva cada 9 o 15 años.

Sin embargo, hay algunas desventajas:

- El corcho, en comparación con los materiales tradicionales, es sustancialmente más caro;
- El corcho es fácilmente degradable en comparación con otros materiales;
- El corcho escasea. Según el estudio que aborda las materias primas críticas (CPM), el corcho natural está clasificado en el documento de la Comisión Europea (EC , 2020) como en el umbral de criticidad, quedando así muy cerca de ser considerado en la lista europea CPM. Este es un factor importante para Portugal y España, ya que son productores de corcho.

Por ello, se está estudiando en Portugal, en el proyecto eMaPriCE, que tiene como objetivo **identificar oportunidades para implementar estrategias de Economía Circular (EC) con el fin de evitar que las Materias Primas Críticas (CPM) se conviertan en residuos, así como opciones para la sustitución** de estos por materias primas no críticas (LNEG, 2022).

Pero tiene muchas ventajas, ya mencionadas anteriormente, y cabe señalar que:

- Es un material natural;
- Es un excelente aislante térmico, acústico y antivibratorio;
- Es un material muy resistente a la humedad.

En conclusión, no hay corcho ni residuo que no se reutilice o recupere o reutilice.

*El corcho es un material sostenible, porque es la corteza del alcornoque (*Quercus suber* L.) lo que significa que es 100% reutilizable y reciclable.*

Además, la zona de alcornoques contribuye al secuestro anual de muchas toneladas de CO₂. La producción de corcho y su uso mantienen el CO₂ retenido durante toda su vida útil, contribuyendo a la reducción del efecto invernadero y el calentamiento global.

No sólo el bosque en su crecimiento, sino cualquier trozo de corcho, desde un simple corcho, pasando por una placa aislante hasta el muro más complejo, «atrapa» el CO₂, evitando que se libere a la atmósfera.

Caja 3

Figura 30 - Planta de arroz

III. OTROS AISLANTES A BASE DE FIBRAS VEGETALES

Cáscara de arroz



Figura 31 - Placas aislantes de cáscara de arroz a) 100% cáscara de arroz, y b) cáscara de arroz en combinación con regranulado de corcho expandido (prototipos). Fuente: Cortesía Itecons.

La cáscara de arroz es un subproducto industrial de la planta de arroz (Fig. 30), cuando se descascarillan los granos. Se compone de celulosa, hemicelulosa, lignina y un componente inorgánico y tiene un alto contenido de sílice.

El proceso de transformación del arroz, que va desde la recolección del cereal hasta la obtención del producto terminado, genera residuos de escaso valor económico y nutricional (cáscara y paja de arroz), sirviendo muchas veces de cobertura de espacios donde habitan animales.

La cáscara representa alrededor del 20% del volumen del arroz. Es un material compuesto por celulosa, hemicelulosa, lignina y un componente inorgánico, además de tener un alto contenido de sílice en comparación con las cascarillas de otros cereales.

Como su quema puede causar varios problemas de contaminación del aire, generando partículas respirables que contienen sílice cristalina y otras sustancias peligrosas, se han realizado varios estudios para su uso en la construcción civil.

Los tableros fabricados 100% con cáscara de arroz y mezclados con otros materiales, por ejemplo, el corcho (Fig. 31), han sido estudiados para su aplicación como aislamiento térmico en la edificación. Los resultados de los estudios realizados dejan claro que los usos de estos materiales compuestos pueden ayudar a mejorar el comportamiento térmico de los edificios. Por ejemplo, las muestras con mayor contenido de gránulos de corcho tienen menor conductividad térmica (entre 0,046 y 0,048 W/m.K), (Marques et al., 2020).

Fibra de cáñamo

El cáñamo es una planta cuyas fibras exteriores, derivadas del tallo, sufren un proceso de aglomeración, compresión y tratamiento ignífugo, resultando placas con buen comportamiento térmico y acústico (Fig. 32).



Figura 32 - Tableros cáñamo.

Es un material de origen vegetal y se puede cultivar en Portugal. Es un material renovable y biodegradable y es reciclable. Sus principales características son: material ligero, no inflamable, no libera gases tóxicos, material higroscópico, material duradero y resistente a hongos y bacterias y evita la condensación en el interior de las viviendas.

Además, tiene una menor energía incorporada en comparación con, por ejemplo, la lana de roca (Santos, 2013) .

Su principal propiedad física es tener un bajo coeficiente térmico de 0,039W/m.K, lo que le confiere un buen desempeño como material aislante (Silva, 2013).

La aplicación del cáñamo como aislante ha ido en aumento. Sin embargo, su precio es más elevado en comparación con la lana mineral, lo que dificulta su uso. (Santos, 2013).

Fibra de Madera

Los tableros de fibra de madera resultan de la transformación de residuos de madera en tableros aislantes (Fig. 33). El proceso de producción puede ser húmedo o seco. En el proceso húmedo, las fibras de madera se muelen, se mezclan con agua y luego se moldean y prensan. La operación de secado se realiza en un rango de temperatura de 160° y 220°.

No se añade aglutinante. La madera tiene un aglutinante natural que es la lignina (Your Best Home Net, 2021).

En vía seca, las fibras de madera se mezclan con otras fibras, por ejemplo, con fibras textiles, con almidón de maíz y con resina PUR. Una vez establecidos los espesores deseados, se curan mediante una mezcla de vapor y aire. El tablero de fibra de madera tiene una conductividad térmica de 0,05 W/m.K (Silva, 2013) y tiene una alta densidad aparente. Las principales ventajas del uso de tableros de fibra de madera como materiales aislantes son, además de las buenas propiedades

de aislamiento térmico y acústico, la posibilidad de ser utilizados en casi todas las áreas de los edificios debido a que son muy flexibles en las opciones de aplicación. Su fijación puede ser con cola y/o tornillos. Se puede aplicar en cubiertas, fachadas, techos y tabiques interiores. En términos ambientales, son materiales naturales y se pueden reciclar (Home Journal Net, 2021).



Figura 33 - Tableros de fibra de madera.

IV. AISLANTES DE ORIGEN ANIMAL

Lana de oveja

El aislamiento de lana está hecho de fibras de lana de oveja que se unen mecánicamente o se pegan con poliéster reciclado (Fig. 34). Se puede utilizar en el techo, paredes y suelos de cualquier tipo de edificio. Material renovable, reciclable y biodegradable. Este aislamiento tiene costos significativamente más altos que el aislamiento convencional, pero tiene riesgos de salud significativamente menores para los trabajadores y los ocupantes del edificio. (Graça & Duarte, 2016).



Figura 34 - Lana de oveja.

Se presenta en forma de rollos, paneles semirrígidos o sueltos.

Tiene una conductividad térmica entre 0,030 y 0,045 W/m.K (Silva, 2013).

2.1.2. Aislantes sintéticos

Este grupo incluye poliestireno expandido (EPS), poliestireno extruido (XPS) o poliuretano (PUR).

I. POLIESTIRENO EXPANDIDO – EPS (EXPANDED POLYSTYRINE)

El EPS, comúnmente conocido como espuma de poliestireno, pertenece a la familia de los plásticos y su materia prima proviene del petróleo (Fig. 35). El EPS está compuesto por un 98% de aire y un 2% de estireno como materia prima, que durante su proceso de producción pasa por una fase de expansión, de ahí el nombre de Poliestireno Expandido. El EPS no es biodegradable, pero se puede reciclar al 100%. Sus principales ventajas son que es un producto versátil y existen en el mercado diferentes espesores y diferentes densidades, siendo compatible con los materiales utilizados en la construcción. La conductividad térmica es baja y es resistente al envejecimiento.

Tiene los inconvenientes de tener un método de fabricación contaminante, desprender gases tóxicos en caso de incendio y ser altamente inflamable, y debe ir asociado a un revestimiento ignífugo (Silva, 2013).

Tiene una conductividad térmica de 0.036 W/m.K, (AREAM, 2022).



II. POLIESTIRENO EXTRUIDO – XPS (EXTRUDED POLYSTYRENE)



El poliestireno extruido es un polímero termoplástico (Fig. 36), también conocido como XPS, siendo por tanto un producto sintético derivado del petróleo. El proceso de producción de placas XPS, a partir de resina de poliestireno en forma de grano, comprende 4 pasos principales que son: extrusión, expansión, estabilización y mecanización (AIPEX, 2022), dando lugar a un material con una estructura rígida y uniforme de pequeñas celdas cerradas que se puede colocar en techos y paredes, entre otras aplicaciones (Figs. 37, 38).

Sus principales características son: alta resistencia mecánica, siendo un material no higroscópico y no inflamable ya que el material incorpora retardadores de llama que lo hacen más resistente al fuego (Cardoso, 2021). Libera emisiones tóxicas en caso de sus principales propiedades físicas es tener una alta densidad que varía entre 28 a 45 kg/m³ y los valores de conductividad térmica están comprendidos en el rango de 0.025 a 0.040 W/m.K, (Nick Connor, 2019b).



Figura 37 - Aislamiento de cubiertas inclinadas con XPS.



Figura 38 - Aplicación de XPS em aislamiento de paredes



2.1.3. Sistemas Mixtos

Son el resultado de la combinación de varios materiales naturales y/o sintéticos. Por ejemplo, SATE y hormigones con áridos ligeros.

I. SATE - SISTEMA DE AISLAMIENTO TÉRMICO EXTERIOR

El sistema de aislamiento térmico exterior - *External Thermal Insulation Composite System* - acrónimo ETICS, es un sistema de aislamiento aplicado a los muros desde el exterior, muy utilizado en la rehabilitación de edificios.

Teniendo en cuenta la legislación vigente en materia de eficiencia energética en edificios, es un sistema considerado por los técnicos como una buena solución para mejorar la eficiencia energética y acústica del edificio existente.

Consta de los siguientes elementos secuenciales aplicados al muro, Fig. 39:

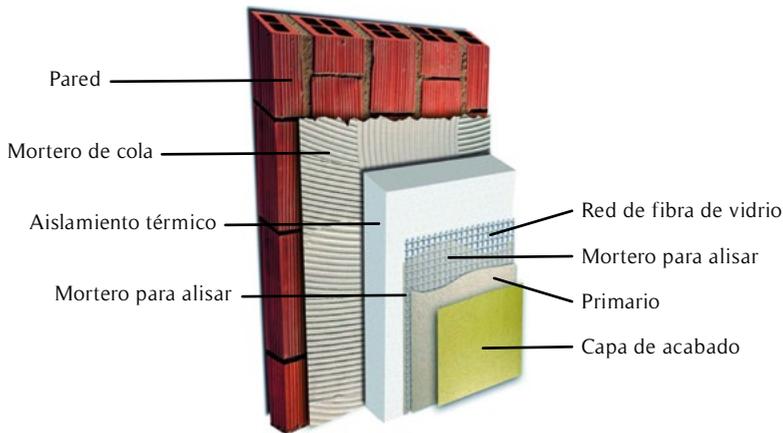


Figura 39 - Elementos de un sistema SATE. Fuente: APFAC, 2018.

Los materiales utilizados como aislantes en los sistemas SATE pueden ser naturales o sintéticos. La Figura 40 muestra las características físicas de los principales materiales de aislamiento utilizados en los sistemas SATE.

Las principales ventajas de este sistema frente a otras soluciones de aislamiento térmico se pueden dividir en cuatro grandes grupos: confort y bienestar de los usuarios, ventajas económicas y protección de los elementos constructivos y ambientales (APFAC, 2018), Fig. 40:

- Confort para los usuarios del edificio: reducción de condensaciones internas y eliminación de puentes térmicos; favorece el aprovechamiento de la inercia térmica de los edificios, lo que evita gradientes térmicos de temperatura en el interior de la vivienda, mejorando su confort térmico. La intervención se puede realizar con los usuarios de la vivienda.
- Ventajas económicas: la aplicación ETICS mejora la eficiencia energética de los edificios porque las necesidades de calefacción y refrigeración son menores; contribuye significativamente al ahorro de energía.

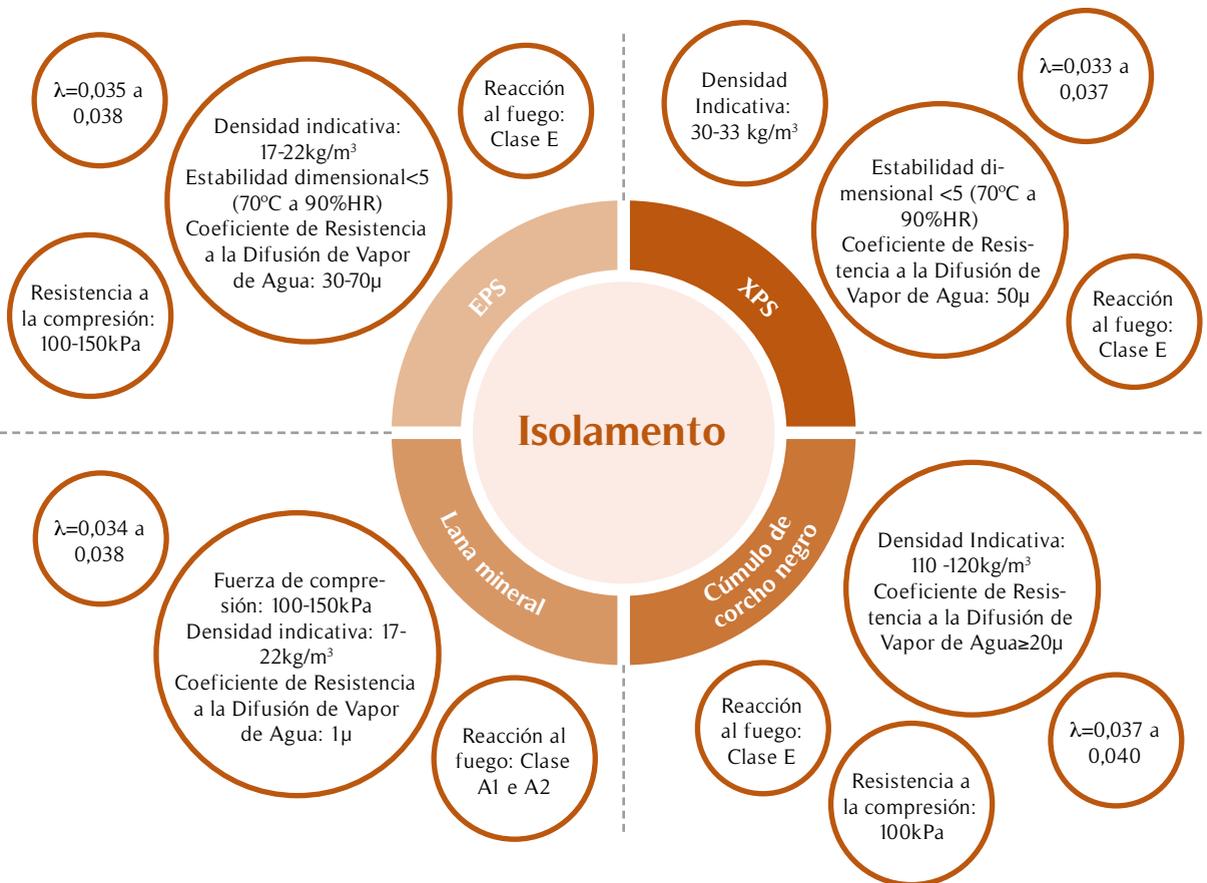


Figura 40 - Características físicas de los principales materiales de aislamientos de los SATE.
Fuente: Adaptado de APFAC, 2018.

- Protección de los elementos constructivos: ayuda a proteger elementos estructurales y de albañilería. Reduce el peso de los muros y las cargas permanentes sobre la estructura. El aislamiento se aplica desde el exterior y la superficie habitable es mayor a medida que el espesor del aislamiento pasa al exterior. Reduce el riesgo de fisuración y mejora la impermeabilización de las fachadas.
- Protección ambiental - con la reducción del consumo de energía, habrá una reducción de los gases de efecto invernadero, lo que contribuye a la reducción del cambio climático.

Cada fabricante propone:

- *Diferentes composiciones de sistemas ETICS;*
- *Con diferentes tipos de aislamiento térmico (de origen sintético, natural o mineral);*
- *Y diversas soluciones de enlucido y acabado.*

Caja 4

La principal desventaja del sistema SATE es que tiene un costo más alto en comparación con la construcción tradicional de doble pared aislada, sin embargo, el sistema SATE a la larga es más económico.

II. HORMIGÓN CON INERTES LIGEROS

El hormigón es una mezcla formada por un material aglutinante, cemento, un material inerte, partículas sólidas (grava, gravilla, piedra triturada y escoria) y agua. El hormigón con agregados ligeros (Fig. 41), también conocido como hormigón ligero, resulta del proceso de mezclado donde el material inerte es reemplazado en parte por material agregado ligero,

como EPS, arcilla expandida o esquisto, perlita, vermiculita, entre otros, en el proceso normal de producción del hormigón, en las dosificaciones previamente estipuladas y de acuerdo con las características previamente definidas para su uso final (Editorial Oporto, 2022).



Figura 41 - Bloques de hormigón con áridos ligeros.

La clasificación del hormigón se puede establecer según su densidad (kg/m^3), pudiendo ser de 3 tipos: hormigón ligero (LC) con densidad inferior a 2000kg/m^3 , hormigón pesado (HC), con densidad superior a 2800kg/m^3 y hormigón de peso normal (C) que está entre la densidad en el rango 2000kg/m^3 y 2800kg/m^3 , (Porto Editora, 2022).

El hormigón ligero es un buen aislante acústico y térmico, favoreciendo el balance energético de los edificios, siendo su principal ventaja su alta resistencia al fuego. Sin embargo, la reducción de la carga permanente a nivel de elementos estructurales y cimentaciones es una de las principales restricciones en las obras de rehabilitación. Sus principales desventajas son los costos de producción más altos que en la producción del denominado hormigón normal y el hecho de que tiene mayor deformabilidad en comparación con el hormigón normal, (Porto Editora, 2022).

La densidad del hormigón ligero o del hormigón pesado se puede especificar mediante un valor objetivo. En el caso del hormigón ligero, la densidad se puede designar por una clase. En la tabla 1 se muestran las clases de hormigón ligero según su densidad (APED, 2008).

Tabla 1 - Clase de hormigón ligero según su densidad.	
Clase	Densidad (kg/m^3)
D 1,0	≥ 800 e ≤ 1000
D 1,2	> 1000 e ≤ 1200
D 1,4	> 1200 e ≤ 1400
D 1,6	> 1400 e ≤ 1600
D 1,8	> 1600 e ≤ 1800
D 2,0	> 1800 e ≤ 2000

Fonte: APED, 2008.

2.2. Normas europeas aplicables a los aislantes térmicos

Según el DAP Habitat System (2022), existen las siguientes normas europeas armonizadas para aislantes térmicos según sus materiales constituyentes (la designación en inglés se encuentra entre paréntesis):

- EN 13162, EN 14064-1 y EN 14303 - Lana mineral (*Mineral wool* – MW)
- EN 13163, EN 14309 y EN 14933 - Poliéstireno expandido (*Expanded polystyrene* – EPS)

- EN 13164, EN 14307 y EN 14934 - Poliestireno extruido (*Extruded polystyrene* – XPS)
- EN 13165 y EN 14308 - Espuma rígida de poliuretano (*Rigid polyurethane foam* – PUR)
- EN 13166 y EN 14314 - Espuma fenólica (*Phenolic foam* - PF)
- EN 13167 y EN 14305 - Vidrio celular (*Cellular glass* – CG)
- EN 13168 - Lana de madera (*Wood wool* – WW)
- EN 13169, 14316-1 y 15599-1 - Perlita expandida (*Expanded perlite* -EPB)
- EN 13170 - Aglomerado de corcho expandido (*Insulation cork board* -ICB)
- EN 13171 - Fibras de madera (*Wood fibres* - WF)
- EN 14063-1 - Árido ligero de arcilla expandida (*Lightweight expanded clay aggregate* – LWA)

Las normas técnicas armonizadas definen los requisitos de los materiales aislantes que hacen posible su mercado CE.

Caja 5

- EN 14304 - Espuma elastomérica flexible (*Flexible elastomeric foam* - FEF)
- EN 14308 - Espuma de poliisocianurato (*Polyisocyanurate foam* - PIR)
- EN 14306 - Silicato de calcio (*Calcium silicate* – CS);
- EN 14317-1 y EN 15600-1 - Gránulos ligeros de vermiculita expandida (*Exfoliated vermiculite* - EV)

2.3. Condiciones para seleccionar un aislante térmico

A la hora de plantearse la selección de un aislante térmico, siempre hay que tener en cuenta los objetivos a conseguir en la obra nueva o reforma, la zona climática y la orientación solar.

En general, una vivienda unifamiliar tiene mayores necesidades de aislamiento que un apartamento, ya que la climatología afecta a toda la fachada exterior y la cubierta.

En un edificio de viviendas, la mayoría de las paredes, así como el suelo y el techo, están en contacto con otras fracciones o edificios. Solo las viviendas más exteriores, incluido el piso superior, las puertas y ventanas exteriores, se ven afectados directamente por el clima.

Por ello, hay que tener especial cuidado con el aislamiento de las paredes exteriores, techo, puertas y ventanas, ya que la falta de aislamiento provoca una mayor refrigeración en invierno y un excesivo calentamiento en verano.

I. CUBIERTA, ÁTICO, TECHO

El techo es uno de los lugares que más influye en la temperatura del edificio/vivienda, y debe ser un objetivo importante en términos de aislamiento.

La colocación del aislamiento entre la cubierta y la estructura que la soporta mejora el confort sin alterar la estética. El ático también se puede aislar desde el interior, pero en este caso con una reducción de la superficie habitable.

Las cubiertas pueden ser aterra-
zadas o inclinadas. Las cubiertas
de terrazas se clasifican según
la posición en la que se coloca el
aislamiento térmico: encima de la
impermeabilización, en **la cubier-
ta invertida**; bajo impermeabiliza-
ción, **cubierta tradicional** ; o bajo la
losa del techo .

Las cubiertas inclinadas también se
pueden distinguir según la posición
del aislante térmico. Este material
se puede colocar en la pendiente
del techo (en el interior o en el exterior de la estructura de soporte), en caso de
que el ático se utilice como área útil del edificio.

*La cubierta invertida es la so-
lución que aporta mayor pro-
tección térmica, mecánica y
durabilidad al sistema de im-
permeabilización, lo que ga-
rantiza la impermeabilización
de la cubierta.*

Caja 6

II. PAREDES

Paredes exteriores, especialmente las más expuestas al viento y lluvia, pueden aislarse por dentro, pero con una reducción del espacio interior de las divisiones, por fuera o rellenando los espacios de aire existentes en las paredes dobles.

Cuando se utilice la doble pared exterior con cámara de aire, el panel aislante debe llenar sólo parcialmente la cámara de aire y colocarse contra el tejido interior, de modo que deje al menos 3 cm de espesor libre para la ventilación y drenaje de la cámara de aire, garantizando así la estanqueidad del muro hacia el exterior.

Si se utiliza aislamiento a granel (por ejemplo, gránulos de arcilla expandida), debe llenar completamente la cámara de aire, que en este caso no se ventilará.

En el caso de paredes exteriores aisladas del interior, uno de los sistemas que se pueden utilizar es el ITICS (*Internal Thermal Insulation Composite System*), en el que la placa aislante se pega por el interior de la pared, recubriéndose posteriormente con un sistema idéntico al mencionado para SATE.

También existen otras soluciones de aislamiento térmico para el interior, como las placas de yeso laminado con aislamiento incorporado (EPS, XPS o ICB) .

Siempre que la intervención abarque toda la fachada exterior del edificio, se debe considerar la colocación del sistema ETICS , la solución más utilizada hoy en día en Portugal para el aislamiento térmico .

La posición del aislamiento térmico en paredes exteriores tiene, en general, los siguientes resultados (BUS-FORESSE, 2016):

Posición del aislador	Inercia térmica	Reducción de puentes térmicos	Tiempo de respuesta climática	Durabilidad del aislador
Exterior	Alta	Fácil	Lento	Promedio
Intermedio o en la caja de aire	Promedio	Difícil	Promedio	Alta
Interior	Muy reducido	Promedio	Rápido	Promedio

Legenda: ■ Mejor posición ■ Peor posición

Figura 42 - Indicación de resultados en función de la posición del aislamiento térmico en las paredes. Fuente BUS-FORESSE, 2016.

III. PUERTAS Y VENTANAS

El calor que pasa a través de grietas y aberturas se debe al intercambio de calor por convección. Se asocia, por ejemplo, con el paso del viento por ventanas o grietas en la fachada. Por este motivo, las ventanas y puertas, si no están bien selladas, pueden provocar corrientes de aire.

Por otro lado, el calor por radiación se concentra principalmente en los acristalamientos y paredes exteriores.

Siempre que sea posible, el acristalamiento simple debe reemplazarse por doble acristalamiento, bien sellado y fijado. No olvides el aislamiento de las cajas de persianas.

El suelo debe estar aislado térmicamente, pero también hay que prestar atención a su impermeabilización, debido a la lluvia, para evitar la humedad.

Caja 7

IV. SUELO

El suelo es la zona que menos afecta al confort térmico, aunque es relevante en la planta baja o en los sótanos de los edificios, ya que su aislamiento ayuda a minimizar las pérdidas térmicas.

Así, el aislamiento térmico de un suelo se justifica cuando separa el interior del exterior del edificio. En este caso, el aislante puede instalarse en la zona superior (exterior), en la zona media (incorporado en los huecos o en los elementos que componen la losa) o desde el interior.

V. PUENTES TÉRMICOS

Puertas y ventanas, cajas de persianas, pilares, juntas entre paredes y suelo, o entre el techo y las paredes de las ventanas, constituyen puentes térmicos, por lo que se debe asegurar que estas zonas estén bien selladas y que haya continuidad en el aislamiento térmico.

Los lugares donde exista una diferencia en la construcción o estructura, o una conexión más directa con el exterior, siempre deben estar bien aislados.

Caja 8

2.4. ¿Cómo seleccionar un aislante térmico sostenible?

El mejor **proceso para comenzar a buscar alternativas sostenibles** es identificar materiales y productos que estén certificados bajo un programa de etiquetado ambiental reconocido y creíble, por ejemplo, la etiqueta ecológica europea de la Unión Europea. Por lo general, estos productos muestran un logotipo o sello impreso que da fe de la certificación del material o producto.

En el caso de la Etiqueta Ecológica Europea de la Unión Europea, es una flor (Fig. 43).

Otra opción es proporcionar al cliente/usuario información sobre el comportamiento sostenible del material o producto a través de una Declaración Ambiental de Producto (DAP).

El cliente/usuario debe entonces comparar el precio del producto etiquetado con otros con la misma función, comparando también otras características, como la calidad técnica y la durabilidad. Por lo tanto, puede hacer una elección consciente que tenga en cuenta la relación costo-beneficio.



Figura 43 - Etiqueta ecológica de la Unión Europea. Fuente: CE, 2009.

El verdadero desafío es lograr no solo pensar en el coste de adquisición, sino tener un pensamiento de ciclo de vida, es decir, considerar los costes de uso, mantenimiento y fin de vida además de los costes de adquisición.

Como se ha destacado en los subcapítulos anteriores, los productos aislantes que tienen el menor impacto ambiental desde la perspectiva del ciclo de vida son los materiales naturales.

Una compra de bajo coste puede, en el futuro, resultar en altos costes de mantenimiento y daños a la salud humana y al medio ambiente.

Caja 9

La etiqueta ecológica de la UE ayuda a identificar productos y servicios que tienen un impacto ambiental reducido a lo largo de todo su ciclo de vida, desde la extracción de la materia prima, pasando por la producción, el uso y el final de su vida útil. Reconocida en toda Europa, la etiqueta ecológica de la UE es una etiqueta voluntaria de confianza que promueve la excelencia medioambiental.

Caja 10

Además de las certificaciones que abordan varios temas a la vez, como es el caso de la etiqueta ecológica de la UE, pueden existir certificaciones específicas para un tema en particular. Por ejemplo, para lana mineral, existe la certificación EUCEB, de carcinogenicidad, que garantiza que los productos de lana mineral producidos en fábricas con esta etiqueta tienen baja biopersistencia. (es decir, el tiempo que una fibra permanece en los pulmones sin que las defensas naturales la destruyan) y no muestran evidencia de patogenicidad después de una exposición prolongada. Esta medida es muy importante, porque

cuanto menor es la biopersistencia de una fibra, menor es la posibilidad de causar enfermedad pulmonar.

EUCEB - *EUropean CERTification Board for mineral wool products*, es un organismo europeo de certificación para lana mineral. Es una iniciativa voluntaria de la industria de la lana mineral que garantiza que los productos estén hechos de fibras no clasificadas como cancerígenas. Los productos certificados se pueden reconocer por el logotipo de EUCEB en su embalaje (Fig. 44), EUCEB, 2022.

La calidad del aire interior, por ejemplo la *certificación Eurofins Indoor Air Comfort (Gold)* que certifica que el producto cumple con las especificaciones legales emitidas por la Unión Europea y los Estados miembros (Fig. 45). Tiene dos niveles, en los que el nivel Gold sigue cumpliendo con las ecoetiquetas más relevantes y con los sistemas de certificación de sostenibilidad para edificios (como BREEAM internacional y LEED), Eurofins, 2021.

Así, los productos certificados por Eurofins tienen las emisiones de gases más bajas de la categoría y, por tanto, son los más adecuados para garantizar la calidad del aire interior.



Figura 44 - Logotipo de la EUCEB. Fuente: EUCEB, 2022.

Se pueden considerar muchos parámetros al elegir un aislamiento térmico, tales como:

- ✓ Rendimiento térmico
- ✓ Coste;
- ✓ Facilidad de colocación;
- ✓ Salud y seguridad y requisitos de salud;
- ✓ Rendimiento acústico;
- ✓ Estanqueidad al aire;
- ✓ Resistente al fuego;
- ✓ Disponibilidad;
- ✓ Sostenibilidad.

En cuanto a la sostenibilidad, se deben tener en cuenta las siguientes recomendaciones a la hora de elegir el aislamiento más sostenible:

- Que sean materiales renovables;
- Que sean duraderos;
- Que sean reutilizables;
- Que sean reciclables;
- Que tengan valores bajos de emisiones de gases de efecto invernadero;
- Que no sean tóxicos;
- Que no contribuyan a la eutrofización;
- Que no contribuyan a la contaminación del agua;
- Que no contribuyan a la pérdida de biodiversidad.

A la hora de elegir un material aislante, la elección siempre debe verse caso por caso, en función de los objetivos del proyecto. En general (Fig. 46), primero es necesario conocer el tipo de construcción y su ubicación (zona climática). Después definir los criterios de selección que desea (según los objetivos a lograr), seguido de la identificación de los materiales aislantes que están disponibles y los que desea eliminar. Luego, en términos de costes, identificar no solo los costes de adquisición, sino también los costes de uso, mantenimiento y deconstrucción, así como el espesor necesario para lograr un buen confort térmico. Después de haber recopilado todos los datos, se debe realizar un análisis económico entre todos los materiales potenciales, aunque sea un análisis simplificado, y seleccionar el aislante más adecuado para este caso/proyecto.



Figura 45 - Logotipo de Eurofins.
Fuente Eurofins, 2021.

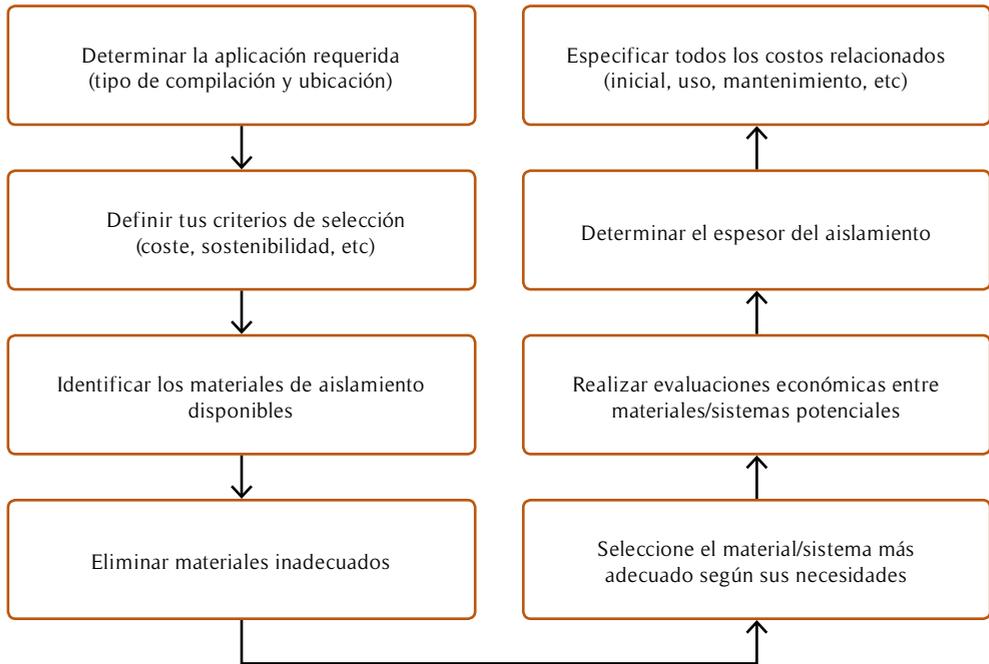


Figura 46 - Selección de materiales aislantes.
Fuente: Adaptado de Mohammad S. Al-Homoud, 2005.

Secuencia ambiental de los materiales aislantes



Secuencia económica de los materiales aislantes



Figura 47 – Secuencia ambiental y económica de los materiales aislantes.
Fuente: Souza, 2010.

Si desea un material aislante sostenible, debe tener en cuenta los parámetros anteriormente indicados para la Sostenibilidad, así como prestar atención a la Fig. 47, que presenta la secuencia ambiental y económica de algunos materiales aislantes. La secuencia ambiental se obtuvo a través de la suma de los diversos valores obtenidos para las emisiones al aire, al agua y al suelo, para los respectivos materiales (Sousa, 2010).

Resulta que el material más sostenible no es el material más económico y viceversa (Fig. 47). La lana de oveja, el corcho y la lana de roca son materiales que garantizan la sostenibilidad, abarcando tanto el aspecto medioambiental como el económico.

Tener en cuenta que para la correcta aplicación de los aislantes se debe realizar la elección adecuada no sólo del material aislante disponible en el mercado, sino también de los materiales destinados a la preparación de los soportes, encolados, enrejados y acabados.

Caja II

2.5. ¿Cómo elegir profesionales cualificados?

Se debe hacer una elección ponderada de los aplicadores de aislante térmico. Los profesionales deben ser elegidos y, si es posible, certificados.

La tarea es más complicada cuando se seleccionan profesionales idóneos en el contexto de la construcción sostenible. Para valorar si el profesional tiene conocimiento de los materiales y técnicas más sostenibles disponibles, el cliente/usuario debe buscar:

- ✓ Profesionales que tengan habilidades relevantes en construcción sostenible en su *currículum*;
- ✓ Profesionales que pueden proporcionar buenos ejemplos de trabajos de construcción sostenible en su cartera.

3. Aislamiento térmico en la rehabilitación energética de edificios





4.1. Introducción

Los edificios, que incluyen los sectores residenciales y de servicios, son grandes consumidores de energía, actualmente representan alrededor del 30% del consumo final de energía y son una de las fuentes más importantes de emisiones de CO₂. En las edificaciones se consume energía asociada a la prestación de servicios energéticos como calefacción y refrigeración de espacios, iluminación, refrigeración y preparación de alimentos, calentamiento de agua sanitaria, entre otros (RNC, 2019).

En el contexto de mejorar las condiciones de confort y salud de los espacios interiores (es decir, la calidad del aire interior) de sus edificios, Portugal ha centrado su estrategia en la rehabilitación urbana, de acuerdo con las políticas europeas. Las políticas europeas requieren la integración y el refuerzo de estrategias de rehabilitación a largo plazo, fomentando la lucha contra la pobreza energética, reduciendo las necesidades de consumo energético, aumentando la eficiencia energética y el uso de fuentes de energía renovables, con el fin de lograr la descarbonización del parque inmobiliario para 2050.

La eficiencia energética juega un papel clave en la reducción del consumo de combustibles fósiles y en el cumplimiento de los niveles máximos de emisiones de CO₂, lo que permite mantener el nivel de confort en los edificios.

Por su importancia, se desarrolló la Estrategia a Largo Plazo para la Rehabilitación de Edificios en Portugal (ELPRE) y en España (ERESEE), estableciendo líneas de actuación y objetivos para reducir el consumo energético en los edificios existentes y su rehabilitación, con el horizonte de los años 2030, 2040 y 2050 (indicados en el capítulo 4).

Así, todos los edificios deben ser construidos y rehabilitados con el fin de ahorrar energía y reducir las emisiones de CO₂, siguiendo las directrices de la legislación nacional y comunitaria.

La construcción de edificios eficientes es importante, pero más importante es rehabilitar las que ya existen, mejorando su eficiencia.

Las mejoras en la eficiencia energética de un edificio pueden llevarse a cabo en prácticamente cualquier rehabilitación, incluso en una pequeña reforma, si el propietario, contratista o arquitecto tiene en cuenta estas cuestiones a la hora de elegir materiales, equipos y técnicas constructivas.



4.2. Oportunidades

En una rehabilitación hay muchas oportunidades para integrar medidas de eficiencia energética, como reparar cocinas, reparar baños, cambiar ventanas, nuevas pinturas, reparar fachadas, techos y suelos, comprar nuevos equipos, entre otros. Este manual, sin embargo, solo se centrará en la parte del aislamiento.

Entonces, ¿cuáles son las oportunidades en términos de aislamiento?

- Refuerzo del aislamiento térmico en las zonas opacas de la envolvente: cubiertas, suelos y paredes exteriores;
- Aislamiento de cajas de persiana.

AISLAMIENTO DE PAREDES (FIG. 48):

Las paredes dobles con cámaras de aire deben rellenarse directamente en la etapa de construcción y ser realizadas por un especialista. En caso de que no haya aislamiento, es mejor considerar estas paredes como una sola pared.

Las paredes simples pueden aislarse por dentro y por fuera tanto en obra como en rehabilitación. Hay varias posibilidades de aislamiento por el interior, pero este aislamiento tiene varios inconvenientes: reducción del espacio interior, los zócalos, marcos de puertas y ventanas, enchufes y enseres deben ser retirados para su instalación, atención a los puentes térmicos y la pared deja de funcionar como almacenamiento térmico.

Estos pueden ser tableros de aglomerado de corcho expandido y paneles técnicos, que luego se pueden acabar con pinturas y barnices.

La principal desventaja del aislamiento exterior es que es más costoso y vulnerable al daño por impacto. Sin embargo, tiene muchas ventajas, se puede aplicar sin problemas en reformas con el edificio ocupado, prolonga la vida útil del edificio, tiene una gran variedad de acabados y aprovecha al máximo la capacidad de almacenamiento térmico de la pared.



En cuanto al aislamiento exterior, el uso de SATE presenta ventajas en el caso de edificios con mal aislamiento térmico, infiltraciones o aspecto degradado. En general, los sistemas de aislamiento exterior consisten en una placa de aislamiento térmico (aglomerado de corcho expandido, EPS, XPS, otros) aplicada sobre un soporte y un revestimiento exterior de protección.

En cuanto al aislamiento térmico en la rehabilitación hay que tener especial cuidado con las cajas de persianas, ya que es muy común que las cajas de persianas de edificios antiguos no estén aisladas. La energía se pierde en la calefacción y la refrigeración no solo a través de grietas en puertas y ventanas, sino también a través de cajas de persianas mal aisladas o sin aislamiento. Otro aspecto muy importante es reducir o anular los puentes térmicos. Es imprescindible cuando se trata de rehabilitación energética.

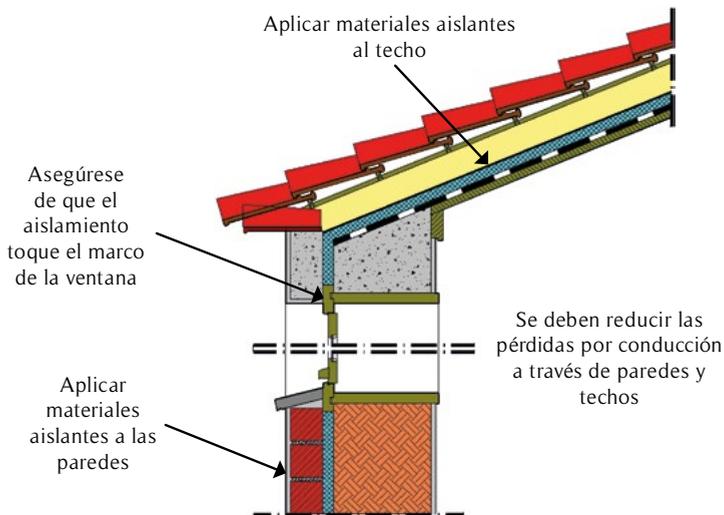


Figura 48 - Aislamiento de paredes y techos. Fuente: © Laboratorio Nacional de Energía y Geología – LNEG, IP

La rehabilitación térmica de la fachada desde el interior se recomienda en los siguientes casos (BUS-FORESSE, 2016):

- ✓ Cuando se planifiquen otros trabajos en el interior del edificio (suelos, tabiques, ventanas, entre otros);
- ✓ Cuando no sea posible modificar el aspecto exterior del edificio (como es el caso de edificios con interés histórico o arquitectónico);
- ✓ Siempre que compense la pérdida de espacio útil con el ahorro energético y los beneficios ambientales previstos con la intervención.

AISLAMIENTO DEL SUELO (FIG. 49):

La intervención a nivel de suelos es fundamental cuando estos están en contacto directo con el exterior o con espacios interiores no calefaccionados. Las pérdidas térmicas a través de los suelos son importantes y descuidar este hecho puede contribuir a un mayor gasto energético.

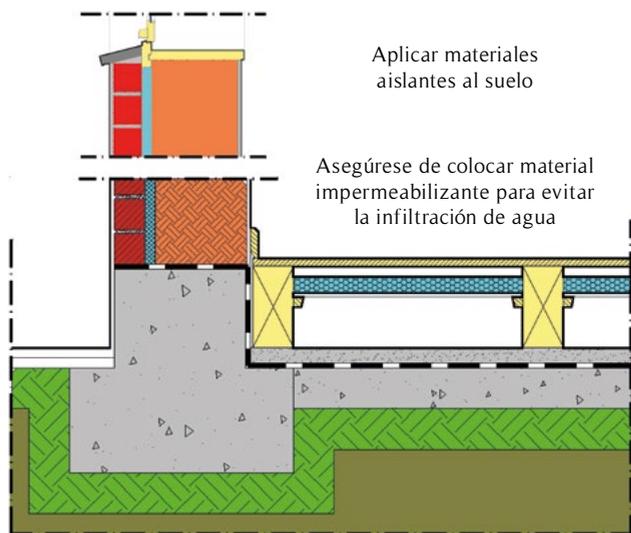


Figura 49 - Aislamiento del suelo. Fuente: © Laboratorio Nacional de Energía y Geología – LNEG, IP

En rehabilitación, cuando se mantiene el suelo existente, la opción más sencilla es instalar el aislamiento y el nuevo suelo encima. Cuando sea posible cambiar el suelo, se puede colocar el aislamiento sobre la losa, ya que así la habitación se calienta más rápido. No olvide poner impermeabilizante debajo del aislamiento.

El aislamiento bajo losa es la opción ideal para una casa con orientación sur.

El suelo debe colocarse siempre al mismo nivel que el suelo anterior.

AISLAMIENTO DE CUBIERTAS (FIG. 48):

En cubiertas inclinadas habitadas, el aislamiento debe colocarse después del apoyo de las tejas (si la estructura es de hormigón) o debajo de las vigas (si la estructura es de madera o metálica). En el caso de cubiertas planas, la capa aislante debe quedar por encima del plano de la cubierta. Se puede colocar inmediatamente después de la impermeabilización.

En rehabilitación es más económico añadir aislamiento que cambiar toda la cubierta.

4. Marco legislativo y reglamentario en Portugal y España





4.1 Legislación en Portugal

La legislación vigente en materia de edificación en el contexto de la eficiencia energética y el Sistema de Certificación Energética (SCE) sigue las directivas europeas

Tras la Directiva 2002/91/CE - EPBD, y la Directiva 2010/31/UE - EPBD (revisión), ambas transpuestas a la legislación nacional, siguió la publicación de la Directiva 2018/844/UE - EPBD (revisión), Fig. 50. transpuesta en Portugal por Decreto-Ley N° 101-D/2020.

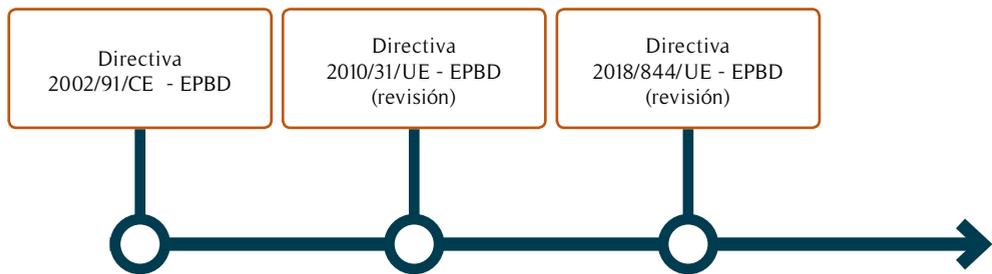


Figura 50. Evolución de la legislación en la Unión Europea.

En el marco de la publicación de la Directiva (UE) 2018/844 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 30 de mayo de 2018, sobre la eficiencia energética de los edificios y la Directiva 2012/27/UE sobre eficiencia energética, la Resolución del Consejo de ministros nº8-A/2021, de 3 de febrero, por la que se aprueba la Estrategia a Largo Plazo para la Rehabilitación de Edificios (ELPRE).

La ELPRE PT establece los objetivos orientativos para los horizontes de las décadas de 2030, 2040 y 2050, en relación con los registros de 2018, referidos a todo el parque nacional de edificaciones existentes:

- Área de edificaciones renovadas, en la proporción de 363.680.501m² para 2030, 635.637.685m² para 2040 y 747 953 071m² para 2050;
- Ahorro de energía primaria, en la proporción de 11% para 2030, 27% para 2040 y 34% para 2050;
- Reducción de horas de malestar en el hogar, en el porcentaje de 26% para 2030, 34% para 2040 y 56% para 2050.

Esta Estrategia también prevé la creación de un Grupo de Coordinación de la ELPRE para su seguimiento, supervisión y coordinación, coordinado por la Dirección General de Energía y Geología (DGEG), con el apoyo técnico y operativo de ADENE – Agência para a Energia, Laboratorio Nacional de Ingeniería Civil y el Instituto de Vivienda y Rehabilitación Urbana, y deberá revisarse cada cinco años a partir de la fecha de su aprobación.

La Tabla 2 muestra la legislación actualmente aplicable en Portugal.

Tabela 2 – Legislação vigente em Portugal.	
Legislação	Descrição
Decreto-Ley n.º101-D/2020	Establece los requisitos aplicables a los edificios para mejorar su rendimiento energético y regula el Sistema de Certificación Energética de Edificios, transponiendo la Directiva (UE) 2018/844 y parcialmente la Directiva (UE) 2019/944 , sobre reglas comunes para el mercado interior de la electricidad.
Decreto-Ley n.º102/2021	Establece los requisitos para el acceso y ejercicio de la actividad de técnicos en el Sistema de Certificación Energética de Edificios.
Ordenanza n.º138-H/2021	Regula las actividades de los técnicos y las competencias del órgano gestor del Sistema de Certificación Energética de Edificios y fija los valores para el registro de certificados energéticos.
Ordenanza n.º138-I/2021	Regula los requisitos mínimos de eficiencia energética de la envolvente del edificio y de los sistemas técnicos y su aplicación en función del tipo de uso y características técnicas específicas.

Tabela 2 – Legislación vigente en Portugal.

Legislación	Descripción
Orden n.º6476-A/2021	Determina el resto del contenido obligatorio de los certificados energéticos, de conformidad con el artículo 20, numeral 4, del Decreto-Ley N° 101-D/2020, de 7 de diciembre.
Orden n.º6476-B/2021	Aprueba los criterios de selección y metodologías aplicables a los procesos de verificación de la calidad de la información producida en el ámbito del Sistema de Certificación Energética de Edificios (SCE).
Orden n.º9017/2021	Modificación del Decreto N° 6476-A/2021, que determina el resto del contenido obligatorio de los certificados energéticos, en los términos del artículo 20, numeral 4, del Decreto-Ley N° 101-D/2020, de 7 de diciembre.
Orden n.º9067/2021	Modificación de la Orden N° 6476-B/2021, por la que se aprueban los criterios y metodologías de selección aplicables a los procesos de verificación de la calidad de la información producida en el ámbito del Sistema de Certificación Energética de Edificios (SCE).
Orden n.º6476-C/2021	Aprueba las condiciones relativas al mantenimiento de los sistemas técnicos instalados en los edificios, la frecuencia y condiciones para la realización de la inspección periódica de los sistemas técnicos y el modelo de informe.
Declaración de Rectificación n.º611/2021	Rectificación a la Orden n° 6476-C/2021, de 29 de junio, publicada en el Diário da República, 2ª serie, n° 126, de 1 de julio de 2021.

Tabela 2 – Legislación vigente en Portugal.

Legislación	Descripción
Orden n.º6476-D/2021	Aprueba los requisitos para la elaboración del Plan de Mejora del Rendimiento Energético de los Edificios (PDEE).
Nº de pedido 6476-E/2021	Aprueba los requisitos mínimos de confort térmico y rendimiento energético aplicables al diseño y rehabilitación de edificios.
Nº de pedido 6476-H/2021	Aprueba el Manual del Sistema de Certificación Energética de Edificios (SCE).
Orden n.º9216/2021	Modificación de la Orden N° 6476-H/2021, por la que se aprueba el Manual del Sistema de Certificación Energética de Edificios (SCE).
Ordenanza n.º310/2021	Fija el valor promedio de construcción por metro cuadrado, para efectos del artículo 39 del Código del Impuesto Municipal a la Propiedad, vigente en 2022.
Ordenanza n.º28/2022	Regula el contenido y criterios de evaluación de los exámenes a realizar para el acceso y ejercicio de la actividad de los técnicos del Sistema de Certificación Energética de Edificios.
Orden n.º1618/2022	Calidad del aire en el interior de los edificios - Procedimientos para el registro de las obligaciones previstas en los apartados 3 a 6 del artículo 16 del Decreto-Ley n.º el régimen simplificado anual de evaluación de los requisitos relacionados con la calidad del aire interior.

4.2 Legislación en España

La legislación vigente en España en materia de Eficiencia Energética y el procedimiento para la Certificación Energética de Edificios sigue las Directivas Europeas (Fig. 50).

Tras la transposición a la legislación nacional de la Directiva 2002/91/CE y la Directiva 2010/31/UE (refundición) del Parlamento Europeo y del Consejo, sobre la eficiencia energética de los edificios, la Directiva 2018/844/UE, que muestra el compromiso de la Unión para establecer un sistema energético sostenible, competitivo, seguro y descarbonizado.

La actualización 2020 de la Estrategia a Largo Plazo para la Rehabilitación Energética del Sector de la Construcción en España (ERESEE) establece líneas de actuación y objetivos para los horizontes 2030 y 2050.

En el sector residencial, el ahorro se generará principalmente en el uso de calefacción y agua caliente sanitaria, que representan de media más del 60% del consumo de los hogares.

El objetivo para 2030 es reducir el consumo de energía final en 26.394 GWh, reduciendo el consumo correspondiente a los usos térmicos en 21.910 GWh (calefacción y agua caliente sanitaria -acrónimo ACS).

El escenario base propuesto implica la rehabilitación del entorno de 1,2 millones de viviendas y la sustitución de más de 3,5 millones de sistemas de calefacción y ACS.

En el sector terciario, el objetivo de ahorro energético para 2030 es de 10.000 GWh. La Estrategia prevé un ahorro de 2.915 GWh, en relación con el escenario tendencial, en los usos de climatización, ACS e iluminación, enfocado en gran medida a la mejora de la eficiencia energética de los edificios de las Administraciones Públicas (nacional, autonómica y local).

El objetivo para 2050 es reducir el consumo de energía final del sector de la construcción en un 36,6% en 2050 en relación con el consumo actual, pasando de los 304.276 GWh actuales (el 67% corresponde al sector residencial y el 33% restante al sector terciario) a 192.728 GWh en 2050, y que el consumo de energía fósil, que actualmente se sitúa en torno a los 126.211 GWh (72.448 GWh en el sector residencial y 53.763 GWh en el sector terciario), se reducirá prácticamente a cero en 2050.

En la tabla 3 se muestra la legislación actualmente aplicable en España.

Tabela 3 – Legislación vigente en España.	
Legislación	Descripción
Real Decreto 842/2002, de 2 de agosto.	Aprueba el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión.
Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo.	Aprueba el Código Técnico de la Edificación.
Real Decreto 1027/2007, de 20 de julio.	Aprueba el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios.
Real Decreto 1371/2007, de 19 de octubre.	Se aprueba el Documento Básico “DB-HR Protección contra el ruido” del Código Técnico de la Edificación y se modifica el Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación.
Real Decreto 1890/2008, de 14 de noviembre.	Aprueba el Reglamento de Eficiencia Energética para instalaciones de alumbrado exterior y sus Instrucciones Técnicas complementarias EA-01 a EA-07.
Orden VIV/984/2009, de 15 de abril.	Modifica algunos documentos básicos del Código Técnico de la Edificación aprobado por Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, y Real Decreto 1371/2007, de 19 de octubre.

Tabela 3 – Legislación vigente en España.

Legislación	Descripción
Real Decreto 187/2011, de 18 de febrero.	Establece requisitos de diseño ecológico aplicables a los productos relacionados con la energía.
Real Decreto 238/2013, de 5 de abril.	Modifica algunos artículos e instrucciones técnicas del Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios, aprobado por Real Decreto 1027/2007, de 20 de julio.
Orden FOM/1635/2013, de 10 de septiembre.	Se actualiza el Documento Básico DB-HE “Economía de la Energía”, del Código Técnico de la Edificación, aprobado por Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo.
Real Decreto 7/2015, de 30 de octubre.	Aprueba el texto refundido de la Ley de Suelo y Rehabilitación Urbana.
Real Decreto 56/2016, de 12 de febrero.	Transpone la Directiva 2012/27/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de octubre de 2012, sobre eficiencia energética, en lo relativo a auditorías energéticas, acreditación de proveedores de servicios y auditores energéticos y fomento de la eficiencia en el suministro energético.
Orden FOM/588/2017, de 15 de junio.	Modifica el Documento Básico DB-HE “Economía de la Energía” y el Documento Básico DB-HS “Saúde”, del Código Técnico de la Edificación, aprobado por Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo.

Tabela 3 – Legislación vigente en España.

Legislación	Descripción
Real Decreto 244/2019, de 5 de abril.	Regula las condiciones administrativas, técnicas y económicas para el autoconsumo de energía eléctrica.
Real Decreto 732/2019, de 20 de diciembre.	Modifica el Código Técnico de la Edificación, aprobado por Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo.
Real Decreto 178/2021, de 23 de marzo.	Modifica el Real Decreto 1027/2007, de 20 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios.
Real Decreto 390/2021, de 1 de junio.	Aprueba el procedimiento básico para la certificación de la eficiencia energética de los edificios.
Real Decreto 450/2022, de 14 de junio.	Modifica el Código Técnico de la Edificación, aprobado por Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo.

5. Bibliografía y referencias





1954

III

1954

IV

1955

I

1955

II

1955

III

1955

IV

1955

I

1955

II

1955

III

1955

IV

1955

1955

1955

1955

1955

A

- Adene, 2020. Guía SCE – Parámetros de cálculo. 13 marzo 2020. Disponible en: https://www.sce.pt/wp-content/uploads/2020/04/3.0-Guia-SCE-Par%C3%A2metros-de-C%C3%A1lculo_V1.pdf
- Aelenei, L., 2011. Implicación en la Eficiencia Energética de los Edificios, Green Campus, Lisboa 2011.
- Aelenei, L. 2016. Módulo General sobre nZEB. Texto desarrollado en el ámbito del proyecto FORMAR, “*Formación Profesional en Mantenimiento y Rehabilitación Sostenible de Edificios*”, WP2 – Contenidos Transversales. Financiado por la Comisión Europea, Programa Leonardo da Vinci, marzo de 2016.
- Aelenei, L., Croitoru, C., Korczak, K., Petran, H., O’Rourke-Potocki, H., Tzanev, D., Sandu, M., Mandic, D., Gonçalves, H., Duarte, A.P., Trindade, P., Loureiro, D. 2022. Mejora de la preparación del mercado para la implementación de nZEB. Jornada de Soluciones Sostenibles para la Energía y el Medio Ambiente EENVIRO 2022, 17-19 octubre 2022.
- Aipex, 2022 - Soluciones de aislamiento térmico con poliestireno extruido (XPS) para la construcción sostenible. Disponible: <https://aipex.es/wp-content/uploads/2020/01/04-soluciones.pdf>. Consultado en abril de 2022.
- APED, 2008. La Especificación del Concreto. Guía para el uso de la norma NP EN 206-1.
- AREAM, 2022. Cálculo de la Resistencia Térmica de Materiales Aislantes Térmicos para Edificaciones. Disponible: <https://aream.pt/files/2016/05/Resistencia-termica-de-materais-isolantes.pdf>. Consultado en abril de 2022.
- Ardente, F., Beccali, M., Cellura, M., y Mistretta, M., 2008. Eficiencia energética de los edificios: un estudio de caso de LCA de paneles aislantes de fibras de kenaf. *Energía y Edificios*, 40(1), 1-10.

B

- Bergman, T.L., Lavine, A.S., Incropera, F. 2011. *Fundamentals of heat and mass transfer*, seventh edition, published by Wiley.
- Buildex techinfus, 2021. Cómo usar vermiculita en la construcción: una solución alternativa de aislamiento térmico. Disponible: <https://buildex.techinfus.com/pt/montazhnye-raboty/vermikulit-teploprovodnost.html> Consultado en marzo de 2022.

- BUS-FORESEE, 2016. Manual de Instalador de Isolamento Térmico. Manual desenvolvido no âmbito do Projeto Build up Skills Foresee.

C

- CARDOSO S., 2021. HOMIFY. Isolamento WallMate: vantagens y desventajas del poliestireno extruido. Disponible en: https://www.homify.pt/livros_de_ideias/7744342/isolamento-wallmate-vantagens-e-desvantagens-do-poliestireno-extruido. Consultado en abril de 2022.
- CE, 2009. Regulamento (CE) nº 66/2010 del Parlamento Europeo y del Consejo del 25 de noviembre de 2009 relativo a un esquema de etiqueta ecológica de la UE. Disponible en: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32010R0066&from=PT>. Consultado en junio de 2022.
- CE, 2020. Resiliencia en materias primas esenciales: el camino a seguir para una mayor seguridad y sostenibilidad. Bruselas, 3.9.2020 COM(2020) 474 final. Disponible en: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:52020DC0474&from=EN>. Consultado em Junho de 2022.
- CINEXPAN, 2020. ¿Qué es la arcilla expandida? Conoce sus tipos, aplicaciones y beneficios. Disponible en: <https://www.cinexpan.com.br/blog/?s=O+que+%C3%A9+argila+expandida%3F+Conhe%C3%A7a+seus+tipos%2C+aplica%C3%A7%C3%B5es+e+benef%C3%ADcios&submit=Search>. Consultado en abril de 2022.

D

- DOCEOBRA, 2022. Lana de roca. ¿Qué es? Descubre sus ventajas, tipos y precios. DOCEOBRA. casaconstrucao.org. Disponible: <https://casaconstrucao.org/materiais/la-de-rocha/> Consultado en abril de 2022.

E

- ELPRE, 2021. Estrategia a Largo Plazo para la Rehabilitación de Edificios en Portugal (ELPRE PT). Resolución del Consejo de Ministros nº 8-A/2021, de 3 de febrero. Disponible: <https://dre.pt/dre/detalhe/resolucao-conselho-ministros/8-a-2021-156295372>. Consultado en junio de 2022.
- ERESEE 2020. Actualización 2020 de la Estrategia Amplia de Rehabilitación Energética en el Sector de la Edificación en España. Disponible: https://www.mitma.gob.es/recursos_mfom/paginabasica/recursos/es_ltrs_2020.pdf

- EUCEB, 2022. ¿Cómo reconocer la Marca EUCEB? Disponible en: <https://www.euceb.org/index.php?page=about-euceb>. Consultado en junio de 2022.
- Eurocoustic, Saint-Gobain, 2022 - Lana de roca: un material con múltiples cualidades. Disponible en: <https://www.eurocoustic.pt/la-de-rocha-um-material-com-multiplas-qualidades>. Consultado en abril de 2022.
- Eurofins, 2021. Indoor Air Comfort Gold y productos con certificación Indoor Air Comfort. Disponible en: <https://www.eurofins.com/consumer-product-testing/industries/construction-building/indoor-air-comfort/>. Consultado en junio de 2022.

G

- Gil L., 1998. Corcho – Producción, Tecnología y Aplicación, Edición INETI, Lisboa.
- Gil L., 2015. El corcho en la construcción sostenible y energéticamente eficiente. Chiado Editora, octubre de 2015.
- Graça, J.M. 2016a. Confort y calidad del aire interior. Texto desarrollado en el ámbito del proyecto FORMAR, “*Formación Profesional en Mantenimiento y Rehabilitación Sostenible de Edificios*”, WP5 - Albañiles. Financiado por la Comisión Europea, Programa Leonardo da Vinci, marzo de 2016.
- Graça, J.M. 2016b. Contribución de la Inercia Térmica al Confort Térmico. Texto desarrollado en el ámbito del proyecto FORMAR, “*Formación Profesional en Mantenimiento y Rehabilitación Sostenible de Edificios*”, WP2 – Contenidos Transversales. Financiado por la Comisión Europea, Programa Leonardo da Vinci, marzo de 2016.
- Graça, J.M. & Duarte, A.P. 2016. Aislamiento Térmico. Texto desarrollado en el ámbito del proyecto FORMAR, “*Formación Profesional en Mantenimiento y Rehabilitación Sostenible de Edificios*”, WP5 - Albañiles. Financiado por la Comisión Europea, Programa Leonardo da Vinci, marzo de 2016.
- Grimm, A. M., 1999. Meteorología básica - Notas de clase. Capítulo 2.9. Mecanismos de transferencia de calor. Disponible en: <http://fisica.ufpr.br/grimm/aposmeteo/cap2/cap2-9.html>

H

- Home Journal Net, 2021. Tableros aislantes de fibra de madera: aislamiento térmico eficiente y opciones de aplicación flexibles. Disponible en: <https://pt.home-diary.net/7377781-wood-fiber-insulation-boards-efficient-thermal-insulation-and-flexible-application-options> Consultado en marzo de 2022.

I

- InfoEscola, 2022. Fibra de vidrio. InfoEscola, Navegando y Aprendiendo. Disponible en: <https://www.infoescola.com/quimica/fibra-de-vidro/>. Consultado em abril 2022.
- IPT - ESTT, 2022. Curso de Especialización Tecnológica - Procesos Generales de Construcción. Aislamiento térmico. Disponible en: http://www.estt.ipt.pt/download/disciplina/1136__Isolamentos%20T%C3%A9rmicos.pdf
- Itecons, 2011. Catálogo de Puentes Térmicos Lineales. Disponible en: <https://www.itecons.uc.pt/catalogoptl/index.php?module=catlg>

J

- Joseph, M.; Jose, V.; Habeeb, A. 2015. Thermal Performance of Buildings: case study and experimental validation of educational building. International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering. Vol4, Issue 6, June 2015.

L

- LNEG, 2022. Projeto eMaPriCE – Estudio de Materias Primas Críticas y Estratégicas y Economía Circular en Portugal. Disponible en: <https://emaprice.lneg.pt/>

M

- Marques, B., Tadeu, A., António, J., Almeida, J., Brito, J. 2020. Mechanical, thermal and acoustic behaviour of polymer-based composite materials produced with rice husk and expanded cork by-products. Construction and Building Materials, 239 (2020) 117851. Disponible: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061819333045>

- MITMA, 2020a. Estrategia de base amplia para la Rehabilitación Energética en el Sector de la Edificación en España. Disponible: <https://www.mitma.gob.es/el-ministerio/planes-estrategicos/estrategia-a-largo-plazo-para-la-rehabilitacion-energetica-en-el-sector-de-la-edificacion-en-espana>
- remite a la Comisión Europea la actualización de la Estrategia para la Rehabilitación Energética en el Sector de la Edificación en España. Disponible: [https://www.mitma.gob.es/el-ministerio/sala-de-prensa/noticias/lun-06072020-1145#:~:text=El%20objetivo%20a%202030%20esy%20ACS\)%20en%2021.910%20GWh](https://www.mitma.gob.es/el-ministerio/sala-de-prensa/noticias/lun-06072020-1145#:~:text=El%20objetivo%20a%202030%20esy%20ACS)%20en%2021.910%20GWh)
- Mohammad S., Al-Homoud, 2005. Características de rendimiento y aplicaciones prácticas de los materiales comunes de aislamiento térmico de edificios. Edificación y Medio Ambiente, 40(2005) 353366.

N

- Nick Connor, 2019a. O que é condutividade térmica de la de vidro – Definição. Disponible: <https://www.thermal-engineering.org/pt-br/o-que-e-condutividade-termica-de-la-de-vidro-definicao/> Consultado em março 2022.
- Nick Connor, 2019b. Qué es el aislamiento de celulosa: lana de papel: definición en ingeniería térmica, 2022. Disponible en: <https://www.thermal-engineering.org/what-is-cellulose-insulation-paper-wool-definition/> Consultado en marzo de 2022.
- Nick Connor, 2019c. ¿Qué es la conductividad térmica del poliestireno extruido? Definición en Ingeniería Térmica. Disponible en: <https://www.thermal-engineering.org/pt-br/o-que-e-condutividade-termica-de-poliestireno-extrudido-definicao/>.

P

- Passivhaus, Portugal (2020). Alto rendimiento y Puentes Térmicos - dos conceptos incompatibles. Disponible en: <http://passivhaus.pt/>
- Porto Editora, 2022. Concreto en Infopédia. Dicionarios Porto Editora. Disponible en: [https://www.infopedia.pt/apoio/artigos/\\$betao](https://www.infopedia.pt/apoio/artigos/$betao), consultado el 2022-04-26 15:30:31.
- Portal de Engenharia Química, 2007. Transferencia de calor. Disponible en: http://labvirtual.eq.uc.pt/siteJoomla/index.php?option=com_content&task=view&id=248&Itemid=422#3. Consultado el agosto 2022.

R

- Rogério Física, 2010. Convección y Radiación, 14 de marzo de 2010. Disponible en: <https://rogeriofisica.wordpress.com/2010/03/14/conveccao-e-radiacao/>. Consultado en junio de 2022.
- RNC, 2019. Hoja de ruta para la Carbono Neutralidad 2050 (RNC2050). Estrategia a largo plazo para la neutralidad en carbono de la economía portuguesa en 2050. República Portuguesa, Ministerio de Medio Ambiente y Transición Energética.

S

- Santos MO, 2013. El cáñamo como material de construcción: factibilidad y oportunidad. Universidad Fernando Pessoa. Facultad de Ciencias y Tecnología - Maestría en Ingeniería Civil.
- Silva, F. 2013. Estudo de materiais de Isolamento Inovadores. Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de Mestre em engenharia Civil - Especialização em construções civis.. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- Sousa, F. 2010. Optimización de Métodos de Elección de Materiales Basados en Desempeño Sustentable. Tesis de Maestría en Ingeniería Civil - Especialización en Construcción. Universidad de Oporto.

T

- Termolan, 2016. Aislamiento Termoacústico -Protección Pasiva Contra Incendios. Disponible en: <https://termolan.pt/solucoes/proteccao-passiva-ao-fogo/> Consultado en abril de 2022.
- Tirone, L. & Nunes, Ken, 2010. Construcción Sostenible - Soluciones para la Prosperidad Renovable - Editor: Tirone Nunes. ISBN:978-989-96913-0-8

U

- UE, 2010. Diretiva 2010/31/UE do Parlamento Europeu e do Conselho de 19 de Maio de 2010 relativa ao desempenho energético dos edifícios (reformulação). Jornal Oficial da União Europeia, 18.6.2010. Disponible: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32010L0031&from=RO>

- ULMA Architectural Solutions , 2022. Lana de vidrio y lana de roca: los dos tipos de aislamiento térmico recomendados por ULMA. Disponible: <https://www.ulmaarchitectural.com/pt-pt/fachadas-ventiladas/noticias/la-de-vidro-e-la-de-rocha-os-dois-tipos-de-isolamento-termico-recomendados-pela-ulma>. Consultado en abril de 2022.

W

- Wikipédia, 2020. Vermiculita. Disponible: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Vermiculita>

Y

- Your Best Home Net, 2021. Aislamiento de fibra de madera: estas son las ventajas. Disponible en: <https://ptyour-best-home.net/7344483-wood-fiber-insulation-these-are-the-advantages#menu-4> Consultado en marzo de 2022.

Agradecimientos

A la Dirección General de Arquitectura de la Junta de Extremadura como socio coordinador del proyecto LIFE ReNaturalNZEZB, a la dirección del Laboratorio de Energía LNEG, así como a todos los socios del proyecto LIFE ReNaturalNZEZB, que, gracias a su colaboración, siempre trabajando como equipo, permitió alcanzar las metas que todos nos propusimos.

Finalmente, a todos aquellos que creen en la sostenibilidad y el respeto por el medio ambiente, con énfasis en los profesionales del sector de la construcción civil que pretenden contribuir a un mundo más sostenible.

ANEXO 1 - Fabricantes de aislantes térmicos, sistemas de aislamiento o productos asociados en Portugal:

- ACEPE: www.acepe.pt
- Amorim Isolamentos: www.amorimcorkinsulation.com
- Argex: <https://argex.pt/>
- Artebel: www.artebel.pt
- BETAC: www.betac-expertise.pt
- Cânhamor, Blocos de Cânhamo: www.canhamorhemp.com
- CIN: www.cin.pt
- Diera: www.diera.pt
- Dow: www.grupoepicentro.com
- FassaLusa: www.fassabortolo.pt
- Fibrosom: www.fibrosom.com
- Grazimac: www.grazimac.pt
- Gyptec: www.gyptec.eu
- Iberfibran: <https://fibran.pt/>
- Lana de roca: www.rockwool.pt
- LusoMapei: www.mapei.pt
- Masterblock: www.masterblock.pt
- Onduline: <https://pt.onduline.com/pt-pt/>
- Plastimar: www.plastimar.pt
- Preceram: www.preceram.pt
- Saint-Gobain Isover: www.isover.pt
- Saint-Gobain Weber: www.weber.com.pt
- Secil-Argamassas: www.secilargamassas.pt
- Sika: <https://prt.sika.com/>
- Sival: www.sival.pt
- SOFALCA: www.sofalca.pt/pt/
- Vidrio espumado: www.foamglas.com
- Termolan: www.termolan.pt

OTROS CONTACTOS:

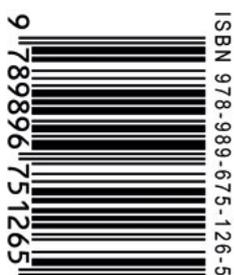
- APCMC - Asociación Portuguesa de Comerciantes de Material de Construcción (www.apcmc.pt)
- APFAC - Asociación Portuguesa de Fabricantes de Morteros y SATE (www.apfac.pt). Publicó los siguientes manuales:
 1. Manual de aplicación SATE: https://www.apfac.pt/uploads/documentos/MANUAL_ETICS_20.05.2021.pdf
 2. Patologías en SATE: www.apfac.pt/patologias-argamassas-etics e www.apfac.pt/patologias/LFC-IC-282A-2014.pdf

ANEXO 2 - Fabricantes de aislantes térmicos, sistemas de aislamiento o productos asociados en España:

- AislaHome: <https://aislahome.es/>
- AislaVida: <https://aislavidacom.com/>
- Bioklima Naturaleza: <https://www.bioklimanature.com/>
- DECOPROYEC: <https://www.decoprojec.com/>
- ECOAISLA: <https://www.ecoaisla.com/>
- Ecoclay: <https://ecoclay.es/>
- ECOISOLA: <https://www.ecoisola.es/>
- EcoGreenHome: <https://ecogreenhome.es/>
- Eurocorcho Almendral: <https://www.eurocork.es/>
- Fassa Bortolo: <https://www.fassabortolo.es/es/>
- Knauf: <https://www.knauf.es/>
- Logrotex – Isolgreen: <https://www.logrotex.com/productos/aislantes/productos>
- Natureclay: <https://naturclay.com/>
- Lana de roca: <https://www.rockwool.com/es/>
- Saint-Gobain Isover: <https://www.isover.es/>
- Saint-Gobain Weber: <https://www.es.weber/>
- Sika: <https://esp.sika.com/>
- Socyr: <https://www.socyr.com/>
- Solbloc: <http://www.solbloc.es/infotec.html>
- SUBERLEV: <https://www.suberlev.com/index.php>
- Thermofloc: <http://www.thermofloc.es/>
- Osa: <https://www.ursa.es/>
- Vipeq: <https://www.vipeq.es/>
- Xecco: <https://www.xeccosystems.net/>

OTROS CONTACTOS:

- ASECOR. Clúster del Corcho: <https://www.asecorclustercorcho.com/>



SOLUCIONES DE AISLAMIENTO SOSTENIBLE PARA EDIFICIOS DE ENERGÍA CASI NULA (EECN)

Proyecto financiado con el apoyo de la Comisión Europea.
La información contenida en esta publicación es exclusivamente vinculante para
el autor, y la Comisión no se responsabiliza del uso que pueda hacerse de ella.

