

ESTUDIO COMPARATIVO DE MATERIALES SOSTENIBLES AISLANTES EN ARQUITECTURA

TRABAJO FINAL DE GRADO

TITULACIÓN | GRADO EN FUNDAMENTOS DE LA ARQUITECTURA

Autor | Joaquín Segura Cruz
Tutor | José María Vercher Sanchís
2018 | 2019 Septiembre

RESUMEN

El objetivo de este trabajo es estudiar diferentes alternativas al aislamiento térmico tipo que se emplea actualmente dentro de la tipología de cerramiento de dos hojas con o sin cámara de aire y aislamiento térmico en su interior. Se intenta aportar datos objetivos para ensalzar el valor de nuevos materiales aislantes térmicos, todos ecológicos, que permiten realizar un trabajo más respetuoso con el medio ambiente.

El estudio gira en torno a la tipología de cerramiento de dos hojas, con cámara de aire y aislamiento térmico en su interior, por ser esta la más extendida en la construcción. Además se considera, a priori, la que mejor solución presenta a problemas tanto térmicos como acústicos. Las espumas de poliuretano u otras soluciones de poliestireno (expandido o extruido) suelen ser materiales empleados en varios formatos como placas o planchas; las lanas de roca o fibra de vidrio se emplean en forma de mantas. Pese a las buenas propiedades aislantes térmicas de estos materiales no son, precisamente, tan ecológicos como se desearía, bien por la procedencia materia prima, bien por el proceso de fabricación para su obtención.

La concienciación sobre la ecología alcanza hoy cualquier disciplina y cualquier tarea. La arquitectura no escapa de esta conciencia y, por ello, se están introduciendo nuevos materiales más ecológicos. De otra parte, no se puede olvidar, las nuevas normativas que abogan por una construcción más eficiente, ecológica y sostenible.

En este sentido, los nuevos materiales proceden de fuentes naturales o de productos reciclados, que, mediante sencillos procesos de transformación, consiguen un nuevo producto que cumple las normativas actuales, así como las nuevas exigencias sociales y arquitectónicas.

Así, se está trabajando para conocer las características aislantes térmicas de los materiales punteros en el terreno de la ecología. Para ver las características de estos materiales aislantes térmicos sostenibles se realizará un estudio comparativo de diferentes productos contrastando sus características y propiedades. La selección de formatos se ha hecho teniendo en cuenta la comercialización. De este modo se escogen materiales en formato de manta, panel, placa y granel, por ser las opciones que mejor encajan en la solución de cerramiento de doble hoja mencionada al principio. A continuación se describen los productos aislantes térmicos escogidos:

- aislante térmico de corcho natural;
- aislante térmico de algodón;
- aislante térmico de cáñamo;
- aislante térmico de celulosa;
- aislante térmico de lana de oveja;
- aislante térmico de fibra de madera.

Para determinar el comportamiento de cada material como aislantes térmicos se estudian, entre otras propiedades, la conductividad térmica, la difusividad térmica, etc. Incluso, de cada material se aporta la procedencia de su materia prima, el consumo de energía que genera en el proceso de su fabricación y los beneficios que el uso de estos materiales sostenibles aporta a la naturaleza.

Con todos los valores y datos obtenidos se demuestra el valor aislante térmico y ecológico de los materiales sostenibles estudiados frente a los utilizados actualmente en la construcción de los sistemas de cerramiento.

PALABRAS CLAVE

Aislamiento térmico. Corcho. Lana. Algodón. Celulosa. Fibra de madera. Sostenible. Reciclable. Comparativa. Ecológico.

RESUM

L'objectiu d'aquest treball és estudiar diferents alternatives a l'aïllament tèrmic tipus que s'empra actualment dins de la tipologia de tancament de dues fulles amb o sense cambra d'aire i aïllament tèrmic en el seu interior. S'intenta aportar dades objectives per a enaltir el valor de nous materials aïllants tèrmics, tots ecològics, que permeten fer un treball més respectuós amb el medi ambient.

L'estudi gira entorn de la tipologia de tancament de dues fulles, amb cambra d'aire i aïllament tèrmic en el seu interior, per ser aquesta la més estesa en la construcció. A més es considera, a priori, la que millor solució presenta a problemes tant tèrmics com acústics. Les espumes de poliuretà o altres solucions de poliestirè (expandit o extruït) solen ser materials empleats en diversos formats com a plaques o planxes; les llanes de roca o fibra de vidre s'empren en forma de mantes. Malgrat les bones propietats aïllants tèrmiques d'aquests materials no són, precisament, tan ecològics com es desitjaria, bé per la procedència matèria primera, bé pel procés de fabricació per a la seua obtenció.

La conscienciació sobre l'ecologia aconseguix avui qualsevol disciplina i qualsevol tasca. L'arquitectura no escapa d'aquesta consciència i, per això, s'estan introduint nous materials més ecològics. D'una altra part, no es pot oblidar, les noves normatives que advoquen per una construcció més eficient, ecològica i sostenible.

En aquest sentit, els nous materials procedeixen de fonts naturals o de productes reciclats, que, mitjançant senzills processos de transformació, aconseguixen un nou producte que compleix les normatives actuals, així com les noves exigències socials i arquitectòniques.

Així, s'està treballant per a conèixer les característiques aïllants tèrmiques dels materials capdavanters en el terreny de l'ecologia. Per a veure les característiques d'aquests materials aïllants tèrmics sostenibles es realitzarà un estudi comparatiu de diferents productes contrastant les seues característiques i propietats. La selecció de formats s'ha fet tenint en compte la comercialització. D'aquesta manera es trien materials en format de manta, panell, placa i granel, per ser les opcions que millor encaixen en la solució de tancament de doble fulla esmentada al principi. A continuació es descriuen els productes aïllants tèrmics triats:

- aïllant tèrmic de suro natural;
- aïllant tèrmic de cotó;
- aïllant tèrmic de cànem;
- aïllant tèrmic de cel·lulosa;
- aïllant tèrmic de llana d'ovella;
- aïllant tèrmic de fibra de fusta.

Per a determinar el comportament de cada material com a aïllants tèrmics s'estudien, entre altres propietats, la conductivitat tèrmica, la difusivitat tèrmica, etc. Fins i tot, de cada material s'aporta la procedència de la seua matèria primera, el consum d'energia que genera en el procés de la seua fabricació i els beneficis que l'ús d'aquests materials sostenibles aporta a la naturalesa.

Amb tots els valors i dades obtingudes es demostra el valor aïllant tèrmic i ecològic dels materials sostenibles estudiats enfront dels utilitzats actualment en la construcció dels sistemes de tancament.

PARAULES CLAU

Aïllament tèrmic. Suro. Llana. Cotó. Cel·lulosa. Fibra de fusta. Sostenible. Reciclable. Comparativa. Ecològic.

ABSTRACT

The main goal of this paper is to examine different alternatives of insulation type which are currently used inside the typology of double leaf enclosure with or without an air chamber and insulation inside. Objective data have been provided in order to praise the value of new insulator materials. All of them are ecological and they allow to make works more environmentally friendly.

The study reports on the typology of double leaf enclosure with or without an air chamber and insulation inside because it is the most extended enclosure in construction. In addition, that is considered the best solution for works related to thermal and acoustic issues. The polyurethane foam and other solutions, like extruded polystyrene or polystyrene foam, we used to be in several commercial formats like plaque or plate; rock wool or fibreglass are employed as blankets. Despite insulating good properties of these materials, they are not as ecological as would be desired, either their provenance, or their manufacturing process for their acquisition.

The awareness of ecology today reaches any discipline and any task. Architecture does not escape this awareness and, therefore, new greener materials are being introduced. On the other hand, we cannot forget the new regulations that advocate for a more efficient, ecological and sustainable construction.

In this sense, the new materials come from natural sources or from recycled products, which, through simple transformation processes, achieve a new product that meets current regulations, as well as new social and architectural requirements.

Thereby, work is being done to know the thermal insulating features of leading materials in the ecological area. In order to see features of these sustainable thermal insulating materials, a comparative study of different products will be carried out, contrasting their features and their properties. Selection of formats is done by considering their marketing. In this way, materials in blanket, panel, plate and bulk format are chosen, as they are the options that the best fit the type of double leaf enclosure mentioned at the beginning. The thermal insulation products chosen are described below:

- natural cork insulating;
- cannabis insulating.
- sheep wool insulating;
- cotton insulating;
- cellulose insulating;
- wood fibre insulating;

In order to determinate the behaviour of each material as thermal insulator there are several aspects which could determine the behaviour of the materials, such as thermal conductivity, diffusivity thermal or reaction to fire, among other. Even for each material the origin of its raw material is contributed, the energy consumption generated in their manufacturing process and the benefits that use of these sustainable materials brings to nature.

Data and values obtained will show the insulating and environmental value of the sustainable studied materials against current used materials in construction systems of enclosure.

KEYWORDS

Thermal isolation. Cork. Lana. Cotton. Cellulose. Wooden fibre. Sustainable. Recyclable. Comparative. Ecological.

ÍNDICE

1. MOTIVACIÓN	5
2. OBJETIVO.....	6
3. INTRODUCCIÓN	7
3.1. CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE.....	7
4. DESCRIPCIÓN DE MATERIALES AISLANTES TÉRMICOS	10
4.1. CORCHO.....	10
4.2. CÁÑAMO.....	18
4.3. LANA DE OVEJA	25
4.4. ALGODÓN.....	32
4.5. CELULOSA	38
4.6. FIBRA DE MADERA.....	44
5. COMPARATIVA DE LOS MATERIALES AISLANTES TÉRMICOS	52
5.1. CRITERIOS DE COMPARACIÓN	52
5.2. TABLA COMPARATIVA	55
6. CONCLUSIONES	56
6.1. FORMATO A GRANEL.....	56
6.2. FORMATO PLACA, PANEL Y MANTO.....	57
7. BIBLIOGRAFÍA.....	59
7.1. REFERENCIAS	59
7.2. REFERENCIAS TABLA COMPARATIVA.....	60
7.3. ÍNDICE DE FIGURAS.....	62
7.4. ÍNDICE DE TABLAS	63
7.5. REFERENCIAS WEB.....	64

1. MOTIVACIÓN

En la actualidad, uno de los mayores problemas a los que se enfrenta la sociedad corresponde al elevado consumo de recursos y a la gran cantidad de residuos que se generan. Entre los sectores que mayor repercusión tiene en este problema destaca el sector de la construcción, llegando a consumir un 40% del total de la energía primaria de la Unión Europea. (Baño Nieva & Vigil-Escalera del Pozo, 2005)

Ante este problema y ante la creciente concienciación ecológica en todos los aspectos de la sociedad actual, la construcción responde y debe responder a este cambio mediante la incorporación de nuevas propuestas, con el objetivo de alcanzar el mayor grado de sostenibilidad y ecología posible.

Estas propuestas pasan por un aprovechamiento de los factores bioclimáticos que facilita el entorno, del desarrollo de instalaciones más eficientes, de la incorporación de energías renovables y también por la inclusión de materiales más sostenibles y con un menor impacto ambiental que los empleados tradicionalmente.

En esta incorporación de nuevos materiales sostenibles surge el conflicto. Las mejoras en sostenibilidad e impacto ambiental no serán suficientes para que su uso se extienda en el sector de la construcción. Deben tener, al menos, las mismas prestaciones que ofrecen los materiales empleados hasta ahora y que a priori suponemos menos sostenibles. Por lo tanto estos materiales sostenibles deben responder a dos exigencias: una mejora de las cualidades ambientales e igualar las prestaciones de los materiales actuales.

Una de las soluciones para alcanzar el objetivo de una construcción ecológica y sostenible se encuentra en el desarrollo de nuevas alternativas de materiales aislantes térmicos. Dada la importancia de estos materiales en la componente energética del edificio, tendrán que cumplir primeramente las exigencias térmicas y en segundo lugar, las aptitudes en materia de ecología y sostenibilidad.

Por tanto, la necesidad de avanzar hacia una arquitectura más sostenible mediante la introducción de nuevos materiales, y la exigencia de mejorar el comportamiento energético de los edificios, justifica el objetivo de llevar a cabo un estudio y comparación de una muestra de los materiales sostenibles aislantes térmicos.

2. OBJETIVO

En el siguiente estudio se analizan y comparan las características térmicas, técnicas y ambientales de diferentes materiales aislantes térmicos que en principio se consideran sostenibles.

Aunque actualmente el mercado ofrece una diversidad considerable de materiales aislantes térmicos sostenibles, para poder realizar un análisis más exhaustivo se han escogido seis de estos materiales, cinco de ellos de origen vegetal y uno de origen animal. El formato predominante es el de placa o manto por su mejor adecuación al sistema de cerramiento de doble hoja con cámara de aire y aislamiento, pero se incluye también el formato a granel para realizar insuflados. Este sistema es el más adecuado para reacondicionar cerramientos en rehabilitación.

Conocer las propiedades aislantes térmicas, técnicas y ambientales de los materiales aislantes térmicos analizados, servirá de punto de partida para elaborar una comparación, que se dividirá en dos partes. Una de las partes corresponderá a los aislantes térmicos en formato de placa o manto; y la otra parte a los aislantes térmicos a granel. Esta división viene dada principalmente por la diferente solución de cerramiento que se genera en su aplicación, cerramiento sin cámara de aire; respecto al ofrecido por los aislantes de placa o manto, cerramiento con cámara de aire. Una vez realizadas estas dos comparaciones se determinará la elección de cada material según las características exigibles en cada ámbito.

3. INTRODUCCIÓN

3.1. CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE

“En la Unión Europea, la construcción de edificios consume el 40% de los materiales, genera el 40% de los residuos y consume el 40% de la energía primaria” (Baño Nieva & Vigil-Escalera del Pozo, 2005)

A lo largo de la historia de la construcción arquitectónica el ser humano ha tenido muy en cuenta su entorno, obteniendo los materiales de construcción de las proximidades, adaptándose a las condiciones del terreno, buscando o evitando la luz y el calor proporcionados por el sol, etc. Esa adaptación se ha ido abandonando en gran medida debido a los diferentes avances tecnológicos que se han incorporado a lo largo del proceso de industrialización, dando lugar a una construcción con un gran consumo de recursos y un impacto ambiental insostenible.



Figura 3.1 Esquema Arquitectura sostenible. Imagen modificada de RevistaConstrucción

Actualmente, gracias al aumento de la conciencia ecológica, se viene produciendo un cambio hacia una construcción más sostenible mediante diversas propuestas hacia la eficiencia energética y la regeneración ecológica de lo ya construido, dando como resultado edificios que cumplen de forma general los siguientes principios:

- respeto y adaptación a su entorno,
- ahorro de recursos,
- ahorro de energía,
- tener en cuenta a los usuarios.

Construcción respetuosa y adaptada a su entorno

Se diseñará tomando en cuenta los factores bioclimáticos que ofrece el entorno, tales como: la ubicación, la orientación, el uso del terreno, el aprovechamiento de la energía solar pasiva, etc. De esta forma se conseguirá un edificio de calidad con una necesidad energética inferior a los convencionales, edificio bioclimático.

Ahorro de recursos y energía

Se emplearán materiales que sean apropiados y de bajo impacto ambiental a lo largo de todo su ciclo de vida, teniéndose en cuenta su doble componente energética. Por una parte las características que influyen en el ciclo de vida del edificio pero no en el consumo en uso (energía empleada para su fabricación, durabilidad y reutilización); y en segundo lugar, las propiedades que influyen en la demanda energética del edificio (características térmicas, lumínicas, etc.).

Instalaciones eficientes y energías renovables. Una vez reducidas las necesidades energéticas del edificio mediante el aprovechamiento de los factores bioclimáticos, el siguiente paso es la implementación de instalaciones que con un consumo de energía lo más reducido posible ofrezcan un mismo servicio. Ante las necesidades energéticas que no se logren cubrir con los puntos anteriores, se optará por el uso de energías renovables.

Tener en cuenta a los usuarios

Es recomendable la implementación de la gestión integral de edificios, mediante una simple guía de usuario para viviendas o sistemas integrales de gestión para edificios de mayor tamaño.

La sensibilización del usuario sería el último escalón, pero no de menor importancia. Un usuario con una conciencia de ahorro energético y que conozca la forma de obtener un rendimiento adecuado del edificio, hará que todos los puntos anteriores den sus frutos.

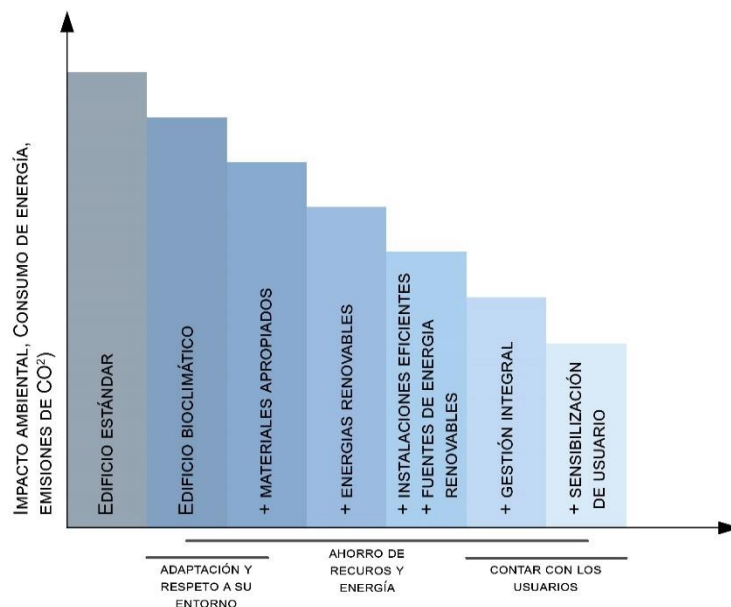


Figura 3.2 Disminución de Impacto ambiental, consumo de energía y CO₂ según la implementación de los diferentes factores de la construcción sostenible. Imagen modificada de (Icaro, 2005)

De todos los apartados anteriores de los principios de construcción sostenible, el correspondiente a los materiales de construcción es el que supone un mayor impacto ambiental a lo largo de todo su ciclo de vida debido generalmente a:

- Consumo de recursos naturales: el consumo de recursos no renovables en un gran volumen puede llevar a su agotamiento por lo que es recomendable sustituir esos recursos por recursos renovables.
- Consumo de energía y emisiones: con un consumo de energía primaria del 40% en la construcción y su consecuente producción de CO₂, emplear materiales que a lo largo de su ciclo de vida tengan un contenido consumo de energía, será un buen indicador de sostenibilidad.
- Impacto en los ecosistemas: es recomendable la obtención de recursos de ecosistemas no sensibles.
- Residuos generados: al finalizar la vida útil del material se convierte en un residuo y dependiendo de su destino (reutilización, reciclaje o residuo) el nivel de impacto ambiental de material será menor o mayor.

Entre los materiales de construcción, los aislantes térmicos son los que están experimentando una gran transformación hacia la sostenibilidad y la ecología, empleando materias primas renovables, naturales, procedentes de residuos de otras actividades o del reciclado de productos. A la vez también son un elemento de gran ayuda en la reducción del ahorro energético de los edificios.

Por su importancia en diversos aspectos en el diseño y adecuación en un edificio, se analizarán sus características aislantes térmicas, técnicas y ambientales de distintos materiales aislantes térmicos sostenibles para poder llevar a cabo una comparación entre ellos y poder poner en valor su utilización o no frente a los materiales aislantes térmicos utilizados habitualmente.

(Baño Nieva & Vigil-Escalera del Pozo, 2005)

(Icaro, 2005)

4. DESCRIPCIÓN DE MATERIALES AISLANTES TÉRMICOS

4.1. CORCHO

4.1.1. Materia prima

El corcho natural es la corteza de los alcornoques la cual le ofrece la protección necesaria frente a las condiciones climáticas, extremas en ocasiones, del clima mediterráneo. Dicha corteza, está formada por células muertas rellenas interiormente de un gas muy similar al aire. Dicho gas constituye volumétricamente casi el 90% del corcho, lo que le aporta al corcho diversas características, entre las que destacan un levísimo peso y una gran compresibilidad. Las paredes de las células están compuestas por suberina y cerina fundamentalmente; sustancias que le inducen su resistencia frente al fuego, su flexibilidad y su imputrescibilidad. Por estas características se entiende que el corcho es ya de por sí, un material con propiedades únicas, que serán transferidas posteriormente al material aislante térmico resultante.

Natural, renovable y biodegradable son las particularidades del corcho, por lo que tanto su aprovechamiento como su utilización como materia prima no perjudica al ecosistema del que se extrae y tampoco contribuye a la contaminación de este, ya que su obtención solo implica el descortezamiento del alcornoque cada 9 o 12 años.¹

4.1.2. Ciclo de vida del material

4.1.2.1. Extracción de la materia prima

La extracción del corcho del alcornoque o “saca del corcho” es un proceso que no daña al árbol ya que es muy respetuoso y de bajo impacto tanto para el alcornoque, como para su entorno. Este proceso se realiza principalmente durante el mes de julio, debido al calor el corcho ejerce una menor resistencia al ser separado del árbol, lo que evita que este sufra algún daño.

El primer proceso de extracción en un alcornoque se puede realizar cuando este alcance aproximadamente los 25 años, aunque dependerá en gran medida de diferentes condiciones climáticas durante la etapa de crecimiento del árbol. Tras esta primera “saca” se podrá obtener corcho cada nueve años, pudiendo repetir este proceso unas 15 o 16 veces a lo largo de la toda la vida del alcornoque.¹



Figura 4.1 Extracción del corcho, “saca del corcho”. Imagen de IAPH

4.1.2.2. Transformación

La fabricación de este aislante térmico a base de corcho no es compleja, puesto que solo requiere: corcho natural y un conglomerante a base de colas biodegradables en agua, si se trata de corcho natural², o de un aumento de temperatura y presión si se trata de corcho expandido. En el caso del corcho expandido, no es necesaria la presencia de ningún tipo de aditivo, siendo el proceso de transformación el siguiente:

- TRITURADO DE LA MATERIA PRIMA: una vez extraído el corcho de los alcornoques, se lleva a fábrica donde se somete a un triturado medio.
- COCCIÓN O TOSTADO: el corcho triturado se lleva a los moldes de cocción o tostado. Estos se cierran herméticamente y se inyecta vapor a 360°C. En este punto, la célula del corcho se expande, lo que mejora notablemente la capacidad aislante térmica y acústica. Otra modificación clave para la obtención del producto es la fusión de la suberina del corcho, que actúa de aglutinante, dando la consistencia necesaria al producto final.
- REPOSADO: tras el proceso de tostado o cocción, se dejarán reposar los bloques obtenidos durante unos días para que el producto adquiera adecuadamente sus propiedades.
- ESCUADRADO Y LAMINADO: se laminarán los bloques con las dimensiones deseadas.^{3 4}

4.1.2.3. Puesta en obra

Se presenta en formato de placas, rollos y de forma granulada, en diferentes grosores, densidades y tamaños, seleccionando el formato deseado según las características de uso.

El formato de placas es adecuado para soluciones de cubierta inclinada, colocando el aislamiento térmico sobre la losa de hormigón ya sea plana o inclinada; en cubierta plana tradicional; y en aislamiento térmico de fachadas, tanto quedando visto el corcho como en fachadas dobles con cámara de aire ventilada o no. También en paredes interiores.

El formato de rollos es más común que se utilice como aislante acústico, concretamente como atenuador de ruidos de impacto, disponiendo el aislante térmico de corcho debajo del pavimento definitivo.⁵

La forma de presentación granulada, según su granulometría, admite diversas soluciones tales como la de conformación de linóleos, la producción de corcho proyectado (mezclado con diferentes resinas) y también el insuflado en el interior de paredes.^{6 7 8}

4.1.2.4. Durabilidad

Es inatacable por los insectos y los microorganismos debido a su bajo contenido en agua, que también lo hace prácticamente imputrescible. El corcho mantiene estas propiedades constantes a lo largo de su ciclo de vida lo que le confieren una durabilidad prácticamente ilimitada.^{7 9}

4.1.2.5. Reutilización y reciclado

El aislante térmico de corcho, más fácilmente el conformado en forma de placa, se puede reutilizar independientemente de los años que hayan pasado desde su fabricación e instalación en obra, debido a las características de durabilidad que posee.

En el caso de que este se convierta en un desecho o en un residuo, el material será completamente biodegradable.^{7 9}

4.1.3. Tipos

Básicamente el material se presenta de tres formas diferentes que se adaptarán en mayor o menor medida al uso para el que vaya a ser empleado. Dentro de esas tres formas se presentarán dos subtipos dependiendo de cómo se hayan conglomerado. Primeramente, sin aditivos, mediante aumento de temperatura y presión dando lugar a la fusión de la suberina que actúa como conglomerante, definiéndose como corcho expandido. En segundo lugar, corcho natural conglomerado con colas biodegradables, corcho conglomerado.¹⁰

4.1.3.1. Planchas

Conformado natural, corcho expandido en planchas o placas: este tipo de terminación está recomendada para soluciones de aislamiento térmico, acústico, y en mayor densidad, para aislamiento contra vibraciones.

Presenta diferentes acabados para los distintos usos que puede admitir, colocándose en el interior de muros, en fachadas, adoptando una solución con una mayor densidad y donde puede quedar visto al aire libre; y en rehabilitación, donde puede servir como soporte de tarimas o placas de yeso laminado.¹⁰



Figura 4.2 Corcho natural expandido. Imagen propia

Conformado natural más conglomerantes de colas con base al agua biodegradables. Se presenta en formato de planchas o placas. Esta tipología es más recomendable para casos de aislamiento acústico, ya que al no pasar por el proceso de expandido posee unas cualidades inferiores como aislante térmico respecto al corcho expandido, aunque también posee buenas cualidades tanto térmicas como antivibratorias.¹⁰



Figura 4.3 Corcho natural más conglomerante. Imagen de EcoHabitar

4.1.3.2. Rollos

Conformado natural más conglomerante en formato de rollos. Se utiliza generalmente para aislamiento acústico de ruido de impacto, colocándose como subpavimento. Al igual que en el caso de los aislamientos térmicos, a mayor grosor este proporcionará un mejor aislamiento acústico.⁵



Figura 4.4 Corcho natural más conglomerante en formato de rollo. Imagen BARNACORK

4.1.3.3. Granulado

Corcho triturado natural, sin ningún proceso previo.

Corcho triturado procedente del **reciclado** de planchas de corcho expandido o procedente de planchas de corcho aglomerado.

En ambos casos se puede utilizar entre tabiques, como añadido en hormigón para la construcción de soleras o como corcho proyectado (grano muy fino mezclado con diversas resinas).¹⁰

Otra solución para este tipo de acabado, es su aplicación como relleno, mediante insuflado, de cámaras de aire presentes en la tipología de fachada doble hoja. Esta solución requiere una granulometría determinada (2-10 mm) para su correcta aplicación.⁸



Figura 4.5 Corcho natural triturado. Imagen de EcoHabitar

4.1.4. Propiedades

4.1.4.1. Resistente

Debido a la estructura ordenada de sus células, a la inexistencia de huecos entre ellas y la presencia de aire en el interior de estas, el corcho ofrece una alta resistencia mecánica sin que ello suponga una pérdida de elasticidad y ligereza. Esas mismas cualidades de las células del corcho también le permiten tener una gran compresibilidad, ya que estas células (y por extensión el corcho) se pueden comprimir hasta casi la mitad de su tamaño recuperando posteriormente su forma y volumen original cuando se deja de ejercer presión.

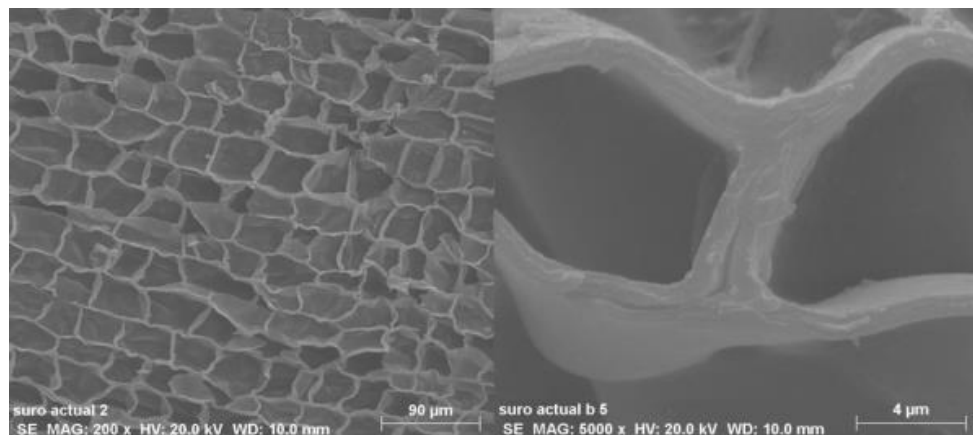


Figura 4.6 Células del corcho a través del microscopio. Imagen de ICSURO.com

Gracias a sus capacidades resistentes frente a las variaciones atmosféricas y a su imputrescibilidad no sufre variaciones ni deformaciones a lo largo de toda su vida útil, ni tampoco varían su capacidad de resistencia mecánica, ni su capacidad compresible, por lo que el corcho tiene una durabilidad ilimitada.^{9 12}

4.1.4.2. Seguro

Esta propiedad la adquiere básicamente de su reacción frente al fuego, característica propia de su naturaleza, ya que este es la protección de los alcornos frente a las inclemencias, entre las que se encuentra el fuego. Es difícilmente combustible, no propaga la llama y es autoextinguible. Además, en caso de que llegase a la combustión, el humo que libera es casi en su totalidad vapor de agua.

Otras propiedades que hacen del corcho un material seguro son la resistencia a los hidrocarburos, la no conductividad de la electricidad y la no liberación de gases perjudiciales para el ser humano ni para las estructuras de la edificación.^{9 12}

4.1.4.3. Confortable

Las propiedades que hacen del corcho y sus derivados un material confortable se deben de nuevo a las células del corcho, el aire contenido en ellas y la estructura en la que se organizan.

Es un excelente aislante térmico, la estructura alveolar, su baja conductividad térmica ($0.037 \leq \lambda \leq 0.040$ W/mK, dependiendo de la tipología) le hacen cumplir de forma excelente. También destaca su propiedad de permitir la transpiración entre las superficies aisladas, evitando así la aparición de condensaciones y manchas de humedad.

Destacable aislante acústico debido a que su estructura le permite ejercer como atenuador de las ondas sonoras, dando muy buenos resultados en la atenuación acústica aérea y de impacto.

Es también un magnífico aislante contra las vibraciones. Al igual que sucede en el caso de aislamiento acústico, su estructura le permite absorber los impactos y vibraciones sin trasladarlos a los elementos adyacentes.^{9 12}

4.1.4.4. Ecológico

Como ya se ha visto en el proceso de transformación, el aislante térmico de corcho es un material 100% natural, especialmente si se hace referencia a la tipología de corcho expandido, ya que éste solo necesita para su conformación vapor de agua y un aumento de presión para que la suberina, presente de forma natural en la materia prima, actúe como aglomerante. En el caso del corcho aglomerado con colas, se asegura que las colas de base acuosa son totalmente biodegradables.^{9 12}

Como propiedad del corcho en materia de ecología, se debe destacar su huella ecológica o huella de carbono. En este caso se han tenido en cuenta las emisiones que se generan antes y durante su proceso productivo, desde que el corcho está en el alcornoque hasta la obtención del material aislante térmico final. En este caso, el corcho presenta una huella de carbono negativa, concretamente de -678.1 kg de CO₂ por m³ de material. El desglose del cálculo:

CO ₂ debido al transporte de la materia prima al centro de procesado.....	0.3 kg/m ³
CO ₂ del proceso productivo	21.6 kg/m ³
TOTAL de emisiones.....	21.9 kg/m ³

La capacidad de fijación de CO₂ de los alcornoques es de 700 kg/m³, por tanto, la huella ecológica es de -678.1 kg/m³ de CO₂. Esto indica que el bosque de alcornoques es capaz de fijar 32 veces más CO₂ del que se utiliza en la producción del material aislante del que es materia prima.¹¹

4.1.4.5. Sostenible

El aprovechamiento del corcho natural como materia prima del aislamiento térmico de corcho aglomerado, genera unos beneficios ambientales y sociales que por su importancia, deben ser tenidos en cuenta.

Como beneficios ambientales se pueden destacar que es un material renovable (pues su extracción no conlleva la tala del árbol), la conservación del suelo, mantenimiento de la diversidad biológica, fijación de gran cantidad de CO₂ y el control de la escorrentía, especialmente después de incendios, puesto que el alcornoque gracias a la protección que le brinda el corcho, es capaz de brotar en poco tiempo sin dejar el suelo totalmente desprotegido frente a las lluvias.

En cuanto a los beneficios sociales sobresalen la economía y los modos de vida creados directamente en torno a él. Todos estos beneficios representan una de las razones más importantes para conservar y proteger los alcornocales.

Otro argumento que hace del corcho un material sostenible es su total capacidad de ser reutilizable y reciclable. Como ya se ha dicho anteriormente, el aislante térmico de corcho mantiene ilimitadamente sus propiedades por lo que su reutilización no supone ningún problema respecto a un material de corcho obtenido recientemente. En este sentido se tiene como ejemplo la reutilización del corcho de unas cámaras frigoríficas construidas hace 70-80 años, que después de ser recuperado y analizado para comprobar sus propiedades, se certificó que seguían intactas por lo que se procedió a su triturado y utilización como corcho granulado para aislamientos térmicos.^{9 12}

4.1.5. Ventajas

Como ventajas se pueden enumerar las anteriores propiedades:

- Excelente aislante térmico, acústico y vibratorio.
- Transpirable, lo que evita condensaciones y manchas de humedad
- Seguro en su puesta en obra y en caso de incendio.
- Producción 100% natural o con incorporación de colas totalmente biodegradables.
- Es un material ecológico cuya huella de carbono es negativa.
- Sostenible, pues genera beneficios ambientales y es totalmente reciclable y reutilizable, debido a su durabilidad ilimitada.

4.1.6. Inconvenientes

El principal inconveniente del aislante térmico de corcho aglomerado es su precio, pues este es más elevado respecto de los aislantes térmicos tradicionales pese a no ofrecer un mejor valor de conductividad térmica y por ende mejor aislamiento térmico. Esta contrapartida quedaría compensada al encontrar su rentabilidad a largo plazo y por sus inmejorables características ecológicas y de sostenibilidad.

4.1.7. Conclusión

El aislante térmico de corcho se caracteriza por sus propiedades aislantes térmicas y acústicas, siendo estas propias de la materia prima y viéndose mejoradas por un proceso productivo 100% natural que no necesita de la adición de ningún compuesto conglomerante. Esto, unido a una materia prima, el corcho, plenamente renovable cada 5 o 9 años (periodicidad de la saca del corcho), hacen a este material un producto totalmente ecológico y sostenible.

Debido a sus cualidades de resistencia frente a agentes externos, ofrece una durabilidad prácticamente ilimitada que asegura su reciclado y su reutilización manteniendo todas sus propiedades intactas.

Con todo lo anteriormente expuesto, se puede decir que el aislante térmico de corcho es un material muy adecuado para sustituir a los materiales aislantes térmicos convencionales. Pese a no superar a estos en los valores de conductividad térmica, si los supera, y con creces, en materia ecológica y de sostenibilidad.

Tabla 1 Tabla resumen características aislamiento térmico de corcho. Elaboración propia

		CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS											CARACTERÍSTICAS AMBIENTALES			
		Conductividad térmica λ (W/mK)	Espesor comercial (mm) ($R \geq 1 \text{ m}^2\text{K/W}$)	Densidad ρ (kg/m ³)	Higroscopicidad (% de su peso)	Resistencia a la difusión vapor μ	Difusión de vapor de agua S_d	Calor específico C_p (J/KgK)	Difusividad térmica α (m ² /s)	Resistencia hongos e insectos	Resistencia al fuego	Precio (€/m ²) ($R \geq 1 \text{ m}^2\text{K/W}$)	Energía (MJ/kg)	Emisiones (kgCO ₂ /kg)	Reciclable	Biodegradable
Corcho	Panel rígido	0.037	40	100	7	7-14	4.20	1670	2.22E-07	Si	E	14.82	7.54	-1.72	Si	Si
	Granulado	0.040	40	65	7	7-14	4.20	1670	3.68E-07	Si	E	10.55	6.75	-1.70	Si*	Si

4.2. CÁÑAMO

4.2.1. Materia prima

La fibra de cáñamo es la materia prima de los aislantes térmicos tipo manta o rollo constituidas por cáñamo. Esta fibra se obtiene de variedades de la planta Cannabis que tras procesos de selección genética presentan unas cantidades muy bajas de THC, por debajo del 0.2%, avaladas por la Unión Europea, por lo que apenas tienen efectos psicoactivos. (Letón, 2018) ^{13 14 15}

Estas fibras poseen un alto contenido en lignina, lo que le aporta dureza y resistencia. La ausencia de proteínas en su estructura hace que no se vean afectadas por insectos o invertebrados.

El cáñamo es una fibra natural de crecimiento rápido, renovable y biodegradable, por lo que este material debe tenerse en cuenta como material sostenible al no implicar perjuicio al medio ambiente. ^{16 17 18}

4.2.2. Ciclo de vida del material

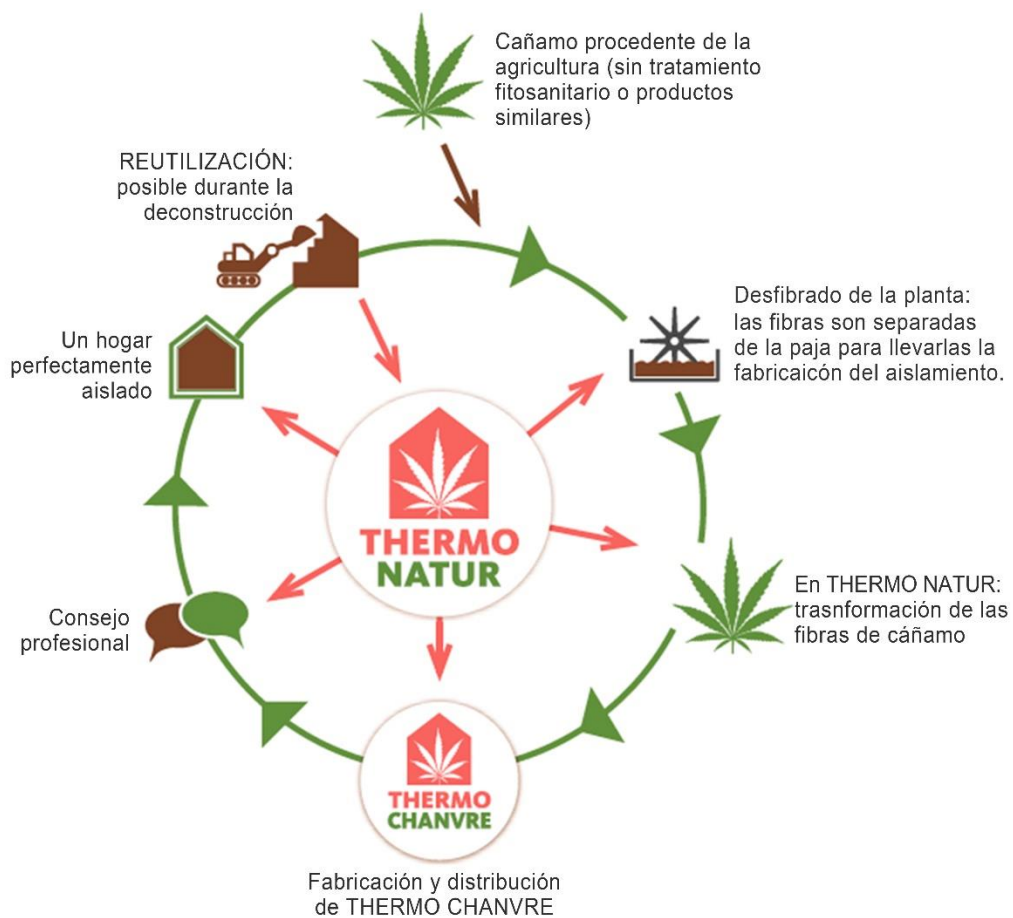


Figura 4.7 Ciclo de vida del aislante térmico de cáñamo. Imagen de THERMONATUR. Traducida

4.2.2.1. Cultivo

Es una planta cultivada, en mayor o menor medida, en todo el mundo por la versatilidad de uso de todas las partes de la planta en diferentes ámbitos como la alimentación, productos textiles, industria, etc. Como ejemplo de cultivo en España, la localidad de Callosa de Segura tiene una arraigada tradición en este cultivo desde la Edad Media.^{13 19} La planta de cáñamo tiene un crecimiento rápido, con un consumo reducido de agua y sin necesidad de pesticidas o herbicidas. Sirve también como protección del suelo, evitando la erosión y el crecimiento de malas hierbas. Tiene una gran producción, pues se estima que en “120 días ya es capaz de estar proporcionando fibra, produciendo hasta 3 veces más fibra por hectárea que el algodón y 6 veces más que el lino”²⁰

4.2.2.2. Extracción de la materia prima

Después de cosechar la planta se pasa por un proceso de enriamiento que consiste en aplicar humedad a la planta mediante vapor de agua o rocío. Con esto se consigue que la parte leñosa se pudra sin resultar dañadas las fibras que utilizaremos como material aislante térmico. Una vez acabado el proceso de enriamiento, el cáñamo se someterá a un secado y ensamblado para posteriormente machacarlo y así separar la parte leñosa (putrefacta) de las fibras que se utilizarán como materia prima.²¹

4.2.2.3. Transformación

El proceso de transformación de la materia prima para obtener el producto final no es complejo y dependerá de la forma en la que se quiera ese material aislante térmico. De esta forma se darán tipologías con una composición del 100% de fibra de cáñamo y otras tipologías que presenten algún aditivo conglomerante ya sea natural o artificial.^{22 23}

4.2.2.4. Puesta en obra

En el caso del formato en paneles, se minimizan los cortes y aquellos que tengan que realizar se llevarán a cabo mediante amoladora o con cuchillo dentado muy fino. Colocado de forma vertical, se ha de sujetar con grapas a un armazón de madera previamente ejecutado, y en el caso de tener una estructura metálica, la sujeción se realizará mediante grapas murales.

Para su aplicación y puesta en obra, pese a no ser tóxico, se recomienda la protección de las vías respiratorias y los ojos utilizando para ello mascarilla y gafas de protección.

Para asegurar el correcto funcionamiento del material y poder aprovechar al máximo sus propiedades, se han de respetar las normas en paredes con propiedades permeables. Se colocará una barrera impermeable al aire, pero no al vapor.^{24 25}

4.2.2.5. Durabilidad

Se presenta como un material que mantiene estables las propiedades a lo largo de su vida útil. Al igual que la planta de cáñamo, se mantienen las propiedades de resistencia frente a insectos e invertebrados y también a roedores.^{18 25}

4.2.2.6. Reutilización y reciclado

Todas las tipologías de aislante térmico de cáñamo son totalmente reciclables y en algunos casos reutilizables. Reciclables porque se pueden disgregar o moler para poder llevar a cabo una nueva constitución como material aislante térmico. Reutilizables sobre todo en el caso de los paneles o mantas ya que si su recuperación se efectúa debidamente podrían volver a ser colocados.^{26 27}

4.2.3. Tipos

En el caso de los aislamientos térmicos de cáñamo se presenta una amplia variedad de tipologías dependiendo del uso al que esté destinado. Dentro de esta clasificación se podrían distinguir dos grupos en función de si están compuestos al 100% de fibras de cáñamo o si por el contrario en su composición se puede encontrar algún aditivo, generalmente actuando como aglutinante.^{22 23}

4.2.3.1. Panel o manta

Es la forma de presentación de aislante térmico-acústico de cáñamo más común. Se compone de un 85% de fibra de cáñamo y un 15% de fibra de termofusión (poliéster textil).

Su colocación en paredes y tabiques es sencilla y en caso de ser necesario, puede ser cortado con amoladora de disco o con cuchillo de dientes finos. El aislante térmico de cáñamo se sujetará mediante grapas a un armazón de madera previamente ejecutado, mientras que, si la estructura es metálica, se preverá un sistema de grapas murales. Para mantener correctamente sus propiedades, se recomienda colocar una impermeabilidad al aire (no al vapor) cuando se aplica en paredes con cualidades de permeabilidad. En el caso de ser colocado sobre el forjado plano de cubiertas inclinadas, este se podrá colocar sin sujeción sobre el forjado.^{22 23}



Figura 4.8 Aislante térmico de cáñamo manta
Imagen propia

4.2.3.2. Fieltro

Su composición es 100% natural, siendo 100% fibra de cáñamo o un 75% fibra de cáñamo y un 25% fibra de jute reciclada.

Está concebido para la utilización de aislamiento térmico y acústico de ruidos aéreos y de impacto, colocándose debajo de suelos y tarimas. También se puede utilizar como junta de dilatación, como separación entre muros y solera, etc.^{22 23}



Figura 4.9 Fieltro de cáñamo en rollo. Imagen de Cannabric

4.2.3.3. Cañamiza

Se trata de partículas planas y alargadas de cáñamo de diferente tamaño. La granulometría normal (2-25mm) es útil como relleno suelto en muros con cámara y cubiertas, y como aditivo para elaborar morteros aislantes térmico-acústicos. Para la granulometría especial (2-15mm) su utilización está recomendada como aditivo en revocos finos con propiedades aislantes térmico-acústicas.^{22 23}



Figura 4.10 Cañamiza. Imagen de Cannabric

4.2.3.4. Bloques o ladrillos

Están compuestos de cañamiza de cáñamo y componentes de origen mineral, especialmente de arcilla, que le aportan resistencia mecánica, densidad y una elevada inercia térmica. Esta solución está diseñada para la utilización como aislamiento térmico, aunque también ejerce como aislamiento acústico y favorece un confort bioclimático.



Por su resistencia mecánica se permite su utilización en la ejecución de muros estructurales monocapa y muros de división interior como si fuese un ladrillo o bloque tradicional.

En su puesta en obra se recomienda la utilización de morteros de cal hidráulica natural y arena, al que también se le podrá agregar cañamiza para mejorar todavía más la capacidad aislante térmica del muro. También es posible el empleo de morteros de cal hidratada con agregados puzolánicos.^{22 23}

4.2.3.5. Pellets

Esta solución se presenta como una forma de aprovechamiento de las partículas finas procedentes de la transformación del cáñamo. Estas se someten a compresión y son aglomeradas sin ningún tipo de aglutinante, por lo tanto, tenemos un material compuesto en su totalidad por cáñamo. Se recomienda para la realización de soleras secas, muy útiles en rehabilitación, siendo su puesta en obra simple, rápida y sin agua. Requiere disponer una lámina de polietileno sobre la superficie del suelo para evitar un aumento de humedad.^{22 23}



Figura 4.13 Pellets de cáñamo. Imagen Cannabric

4.2.3.6. Lana

Este tipo de aislamiento térmico de cáñamo es fibra de cáñamo 100%, sin ningún tipo de tratamiento ni aditivo, la cual servirá como relleno de juntas y huecos de ventana.^{22 23}



Figura 4.12 Lana de cáñamo. Imagen de Cannabric

4.2.4. Propiedades

4.2.4.1. Durabilidad

Las propiedades de la planta de cáñamo y por tanto sus fibras, se mantienen intactas en el material final resultante. Como ya se ha dicho anteriormente, las fibras de cáñamo carecen de parte proteica, por lo que no son atractivas para insectos, invertebrados y roedores, haciendo del aislante térmico de cáñamo un material resistente a estos.

Por la resistencia de sus fibras, el aislante térmico de cáñamo mantiene sus propiedades prácticamente intactas en el tiempo, lo que lo convierte en un material con una excelente durabilidad.

4.2.4.2. Confortable

Se presenta un material que funciona bien como aislante térmico-acústico con una conductividad térmica entorno al 0.040 W/mK. Otra característica que hace comfortable es su higroscopicidad, es capaz de absorber hasta un 17% de su peso en humedad sin que se vean afectadas sus cualidades como aislamiento térmico. Debido a esta capacidad de absorción también actúa como regulador de humedad al absorber los picos de condensación y permitir una evaporación gradual.^{18 28}

4.2.4.3. Ecológico

Comenzando por su cultivo, el cáñamo no necesita el empleo de agentes químicos para su correcto desarrollo debido a la ya mencionada consecuencia de ausencia de proteínas en sus fibras. En su proceso productivo tampoco se necesita de adición de ningún compuesto químico, ya que el proceso solo requiere de agua y posteriormente fuerza mecánica para machacarlo y obtener la fibra de cáñamo. Es en su conformación final donde nos encontramos pequeñas excepciones, puesto que en algunos casos se precisa de la adición de conglomerantes plásticos en pequeña medida, lo que no resta valor ecológico a este material.

Otra característica para poner en valor el factor ecológico del cáñamo como material se encuentra en su huella de carbono y GWP (Global Warming Potencial). Teniendo en cuenta todo el proceso productivo del cáñamo, desde su cultivo hasta su acabado e incluso su posible transporte, el GWP resultante es negativo (-0.624 kg CO₂eq/kg), lo que permite decir que es un material que retiene CO₂.²⁷

4.2.4.4. Sostenible

El aprovechamiento de la fibra de cáñamo como aislante térmico no solo ofrece beneficios en el campo de la construcción. Estos beneficios ya están presentes desde el cultivo ya que con pocos recursos hídricos se consigue una rápida y alta producción que no necesita del empleo de pesticidas o herbicidas, puesto que la propia planta es resistente a plagas e impide el crecimiento de malas hierbas. Este efecto herbicida propio del cáñamo también permite la recuperación del suelo en el que está plantado, dándose por este motivo la posibilidad de utilizar el cáñamo como cultivo rotativo de descanso.

Por su gran productividad, beneficios y versatilidad de uso, el cáñamo podría actuar como medida de sostenibilidad del medio rural.

La capacidad de ser un material reciclable, reutilizable y biodegradable, junto con las anteriores características, lo hacen un material totalmente sostenible.^{20 22 28}

4.2.5. Ventajas

Las ventajas de la aplicación del cáñamo en la construcción son las propias características de este material:

- Resistente a insectos, invertebrados y roedores, y mantenimiento de sus características iniciales.
- Confortable gracias a su buena capacidad como aislante térmico-acústico y como controlador de la humedad.
- Su colocación en obra es muy sencilla y no requiere de protecciones especiales, no es tóxico.
- Es un material ecológico puesto que no necesita agentes químicos protectores y también por su huella de carbono negativa.
- Sostenible, pues genera beneficios ambientales y económicos, es un material reciclable, reutilizable y biodegradable.

4.2.6. Inconvenientes

Como es habitual, el principal inconveniente aparece al comparar el valor de conductividad térmica del aislante térmico de cáñamo con los materiales tradicionales aislantes térmicos, pues el cáñamo ofrece un peor valor. Este inconveniente queda mermado en el momento que se tiene en cuenta las demás propiedades del aislamiento térmico de cáñamo frente a las del poliestireno.

4.2.7. Conclusión

El aislante térmico de cáñamo, por sus propiedades como aislante térmico-acústico y su buen control de la humedad, es un material que ofrece un confort total al espacio al que protege, consiguiendo incluso reducciones de consumos de calefacción de hasta un 40%. Estas características, junto con los beneficios que aporta el cultivo de su materia prima, hacen de este material, un aislante térmico totalmente renovable, ecológico y sostenible.

La reutilización y reciclado del material es posible gracias a su resistencia frente a agentes externos y a la capacidad de mantenimiento de sus cualidades constantes a lo largo del tiempo.

Con los argumentos expuestos, se puede afirmar que el aislante térmico de cáñamo es un firme candidato para sustituir a los materiales aislantes térmicos convencionales. La resistencia térmica que ofrece el aislante térmico de cáñamo no es mejor que la que se encuentra en los materiales convencionales, pero las características de ecología y sostenibilidad del cáñamo hacen de este un material por el que apostar.

Tabla 2 Tabla resumen características aislamiento térmico de cáñamo. Elaboración propia

	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS											CARACTERÍSTICAS AMBIENTALES			
	Conductividad térmica λ (W/mK)	Espesor comercial (mm) ($R \geq 1 \text{ m}^2\text{K/W}$)	Densidad ρ (kg/m ³)	Higroscopicidad (% de su peso)	Resistencia a la difusión vapor μ	Difusión de vapor de agua S_d	Calor específico C_p (J/KgK)	Difusividad térmica α (m ² /s)	Resistencia a hongos e insectos	Resistencia al fuego	Precio (€/m ²) ($R \geq 1 \text{ m}^2\text{K/W}$)	Energía (MJ/kg)	Emisiones (kgCO ₂ /kg)	Reciclable	Biodegradable
Cáñamo Manto	0.041	50	30	17	1	0.5	2300	5.94E-07	Si	F	7.10	-	-0.62	Si	Si

4.3. LANA DE OVEJA

4.3.1. Materia prima

La mayor parte de la materia prima de este tipo de material proviene de la esquila regular de las ovejas. También puede extraerse de otro tipo de animales, pero por su proximidad, la oveja es la fuente de lana mayoritaria en España y su entorno.

La lana de oveja está diseñada naturalmente para conseguir dar un confort térmico al animal que protege, es elástica, transpirable e higroscópica, propiedades que la hacen una adecuada materia prima para un material aislante térmico ecológico.

Es una materia prima natural, renovable y reciclable, por lo que el empleo de este aislante térmico contribuye a la reducción de los efectos negativos de la producción de materiales de construcción.^{29 30}

4.3.2. Ciclo de vida del material

4.3.2.1. Obtención de la materia prima

La esquila de la oveja es el método por el cual se obtiene la materia prima de este material. El proceso se realiza todos los años, generalmente durante los meses de primavera, obteniéndose entre 3 y 5 kilogramos de lana de cada ejemplar. Es un proceso totalmente necesario en la vida de las ovejas, puesto que las prepara para las altas temperaturas del verano.

Por otra parte, también se obtiene lana del reciclado y aprovechamiento de subproductos de la industria textil.



Figura 4.14 Esquila de la oveja. Imagen de quesodeoveja.org

4.3.2.2. Transformación

El paso inmediatamente posterior a la esquila de la lana es su lavado en baños de agua caliente para quitar toda la suciedad que pudiese acumular.

Con la materia prima ya lavada, se tiene una lana de oveja de colores naturales, con una longitud de fibras de 20 a 30 milímetros de largo y con un diámetro de 25 a 40 micras. Esta lana se somete a un proceso de decoloración y se le aplica un tratamiento a base de permetrina y/o sales de bórax. Estas sustancias le confieren a la lana una protección frente a los hongos y los insectos, también se tratará para retrasar en la medida de lo posible la acción del fuego.

Con el proceso llevado a cabo hasta ahora, se obtiene un aislamiento térmico en forma de fibras de lana suelta. Para llegar al formato de placas, mantas o fieltro, se le añadirá un 5-15% de ligante de poliéster que mediante tratamiento térmico conformará el aislante térmico en el formato deseado.^{29 30 31}

4.3.2.3. Puesta en obra

El material se debe almacenar e instalar en un entorno protegido de la lluvia y de una excesiva humedad para evitar que se moje y pierda sus propiedades.

Se comprobará que las instalaciones eléctricas estén debidamente protegidas y que el material no esté en contacto directo, guardando unas distancias, con puntos de calor tales como focos o chimeneas.

Para la correcta durabilidad de las propiedades aislantes térmicas, se colocará con una barrera de vapor dadas las características de cada zona climática. En su instalación vertical se asegurará su sujeción mediante grapas a una estructura auxiliar de madera.

Este aislamiento térmico no presenta riesgo alguno para la salud de los trabajadores que llevan a cabo su puesta en obra, no es tóxico, pero se recomienda principalmente la protección de las vías respiratorias y los ojos mediante mascarilla y gafas protectoras, así como la utilización de guantes.^{32 33 34}

4.3.2.4. Durabilidad

El aislante térmico de lana es un material durable en el tiempo si se han seguido correctamente las indicaciones de instalación, mantiene sus propiedades de cohesión y densidad. Su alta higroscopicidad asegura el control de la humedad y facilita la prevención de condensaciones en el interior de los cerramientos donde está instalado, lo que también le proporciona una mayor durabilidad.

Resistente a insectos y hongos por el tratamiento de permetrina y/o sales de bórax sales recibido. Este tratamiento también le proporciona que sea un material resistente al fuego y autoextinguible a temperaturas inferiores a 560°C.^{33 35}

4.3.2.5. Reutilización y reciclado

Todas las tipologías y formatos que se presentan de este material son perfectamente reciclables. Es posible su recuperación de demoliciones o rehabilitaciones (especialmente los formatos de placas o mantos) y después de ser tratado, puede incorporarse al ciclo de fabricación y transformación del aislante térmico de lana de oveja en cualquiera de sus formatos.

Esta recuperación y posterior incorporación al ciclo productivo del material aislante térmico hacen que se pueda considerar un material reutilizable. Por este hecho y por utilizar también para su fabricación lana recuperada de productos de la industria textil se puede considerar a este aislante térmico un material reciclado.³⁶

4.3.3. Tipos

El aislante térmico de lana de oveja se presenta en cuatro formatos, orientado cada cual a un uso o forma de puesta en obra según las necesidades que se requieran.

4.3.3.1. Placas y mantos

Son los formatos de presentación más comunes. Se componen de lana de oveja natural tratada y ligante de poliéster. La diferencia más notable entre placas y mantos es la densidad, superior en el caso de las placas, lo que conlleva también una menor conductividad térmica.

Su colocación en el intradós de paredes y tabiques es sencilla, puede ser cortado herramientas simples. Debido a su ligereza, son muy manejables, flexibles y con una gran adaptación a las irregularidades.

Su colocación en horizontal o con ligera inclinación no necesita ser fijado, mientras que, si su colocación se realiza con una inclinación acusada, o verticalmente, se fijará mediante grapas a una estructura de madera.^{33 34 37}



Figura 4.15 Aislamiento térmico de lana de oveja formato manto. Imagen propia

4.3.3.2. Fieltro

Dentro de este tipo de formato, se presentan dos procesos de fabricación del material diferentes y con distintas composiciones:

Fieltro punzonado: esta solución está compuesto únicamente por lana de oveja tratada y ligada mecánicamente para conseguir el acabado final del producto. Como aislamiento térmico y acústico, se colocará en el interior de trasdosados y falsos techos.³⁸



Figura 4.16 Fieltro punzonado de lana de oveja. Imagen de RMT-NITA

Fieltro termofijado: al igual que el formato de placas o mantos, este está compuesto por lana natural tratada y ligante de poliéster. Esta solución, a diferencia de la anterior, también se puede colocar como aislamiento térmico y acústico en superficies de acabado. Otro uso característico de este formato es como aislamiento acústico de ruidos de impacto bajo tarimas.³⁹

4.3.3.3. A granel

Esta solución se compone al 100% de lana natural tratada (permetrina y/o sales de bórax), pues es la base de los formatos anteriormente expuestos. Se aplica como aislante térmico y acústico en el interior de tabiques, a modo de relleno, en forjados y falsos techos manualmente. Otro método de aplicación del aislante térmico de lana de oveja a granel es el insuflado. Este se lleva a cabo mediante dosificadores especializados, sin necesidad de obras, lo que hace a este método una solución de aislamiento en rehabilitación o adecuación energética en fachadas doble hoja con cámara de aire, quedando esta rellena totalmente.^{40 41}



Figura 4.17 Lana de oveja a granel. Imagen propia

4.3.4. Propiedades

4.3.4.1. Durabilidad

Las propiedades de la lana de oveja natural, sin tratar, le otorgan una gran capacidad higroscópica y de control de la condensación. Absorbe un 33% de su propio peso (Redacción EFEverde, 2017) y libera la humedad con facilidad creando ambientes secos. Esta propiedad es especialmente interesante respecto a la durabilidad del material ya que pese a ser resistente a hongos e insectos, por el tratamiento con sales que recibe, hace que se refuerce todavía más dicha resistencia. También por el tratamiento que recibe para su fabricación, es resistente al fuego, autoextinguible hasta los 560°C.

Para el correcto mantenimiento en el tiempo de su densidad y cohesión, ha de ser correctamente instalado, siguiendo las indicaciones del fabricante.^{34 37 41}

4.3.4.2. Confortable

Es un material con gran capacidad como aislante térmico-acústico, sobre todo en su formato de placas, con una conductividad térmica entorno al 0.035 W/mK, quedando por debajo, incluso mejorando, el valor de conductividad térmica de 0.037 W/mK del poliestireno expandido.

Las capacidades de transpirabilidad e higroscopicidad hacen que el aislamiento térmico de lana de oveja actúe como un termostato natural, ya que cuando la temperatura del ambiente sube y calienta las fibras de lana, provoca que estas liberen humedad, enfriándose y por consecuencia enfriando el ambiente. Este proceso también funciona en el camino inverso. También por estas capacidades funciona como un regulador de la humedad de los ambientes.³⁴

4.3.4.3. Ecológico

El camino desde la obtención de la materia prima hasta la implantación en obra del material no necesita prácticamente de la utilización de agentes perjudiciales para el medio ambiente. La energía empleada en todo el proceso es mínima, lo que reduce las emisiones de CO₂ al medio.

Su origen es totalmente natural, el tratamiento que recibe la materia prima para la mejora o incorporación de propiedades es mínimo e inocuo, y es solamente en el proceso de conformado de algunas soluciones donde se adiciona, en pequeñas proporciones, un material plástico como ligante.

Por el proceso de fabricación y por tratarse de un producto de proximidad las emisiones de CO₂ que genera no son negativas, pero son muy bajas especialmente si se comparan con los aislantes térmicos tradicionales. Un dato destacable es que la emisión de CO₂ del aislante térmico de lana de oveja en formato a granel es un 50% menor que la emisión del formato de mantos.^{34 40}

4.3.4.4. Sostenible

El empleo de la lana de oveja como aislante térmico no solo aporta beneficios en la construcción, pues la materia prima de la que se aprovecha es de proximidad y ayuda a un sector, el de la lana, en dificultades por el descenso de demanda en la industria textil. Este sector engloba a población de entornos rurales que ven cada vez más mermados sus recursos económicos, por lo que esta salida de la lana como aislante térmico podría beneficiar al mantenimiento de ganaderías y la fijación de población en entornos rurales.⁴²



Figura 4.18 Ciclo de vida del aislante térmico de lana de oveja. Imagen de RMT-NITA

Es un material renovable, reciclado y reciclable. Renovado porque proviene de una fuente natural, la esquila de las ovejas, que ha de realizarse cada año, obteniendo por cada animal de 3 a 5 kilogramos de lana. Reciclado por la utilización de productos desechados de la industria textil y de residuos como colchones de lana. Reciclable ya que debido a su durabilidad puede ser recuperado de la rehabilitación o demolición de edificios para ser introducido de nuevo en el ciclo de fabricación del material.³⁶

4.3.5. Ventajas

Como ventajas se pueden destacar:

- Buenas propiedades de aislante térmico-acústico lo que le hace también un material confortable.
- Gran capacidad higroscópica convirtiéndolo en un excelente regulador de la humedad. Traspirable y permeable al vapor de agua, con lo que evita la creación de hongos y bacterias en el interior de los cerramientos donde esta aplicado.
- Una destacable durabilidad por su resistencia a insectos y hongos por el tratamiento recibido. Mantiene sus propiedades intactas a lo largo de su vida útil, gran durabilidad.
- Su colocación en obra es muy sencilla, con herramientas simples y no obliga a usar protecciones especiales, no es toxico.
- Es un material ecológico con un tratamiento prácticamente inocuo para el medio ambiente y con emisiones muy bajas de CO₂ desde su fabricación y a lo largo de su vida útil.
- Sostenible, pues aparte de ser renovable, reciclado y reciclable, proviene de actividades de proximidad que ayudan al control de las emisiones por transporte en todo el ciclo de vida del material y al mantenimiento de modos de vida rurales.

4.3.6. Inconvenientes

- Respecto a los demás materiales aislantes térmicos sostenibles, es de los que más energía necesita para llevar a cabo su proceso productivo, siendo esto más notable en los formatos de placa y manto.
- No debe estar en contacto con el agua, puesto que perdería parte de sus propiedades.

4.3.7. Conclusión

El aislante térmico de lana de oveja es un notable aislante térmico-acústico que además por su gran capacidad higroscópica es capaz de regular la humedad de los diferentes ambientes a la vez que juega en favor de su durabilidad. Por estas propiedades este aislante térmico ofrece un gran confort a los espacios que protege.

Es un material de origen natural, ecológico, totalmente renovable, reciclable y sostenible, por su producción ya que no supone inconveniente para el medio ambiente debido a la baja emisión de CO₂ y por su beneficiosa repercusión en la sociedad rural.

La reutilización y reciclado del material es posible gracias a su resistencia frente a agentes externos y a la capacidad de mantenimiento de sus cualidades constantes a lo largo del tiempo.

Después de las características expuestas, es posible poner en valor la capacidad del aislante térmico de lana de oveja como un material más que válido para la sustitución de los aislantes térmicos convencionales. Pese a que sus propiedades aislantes térmicas no son malas, no acaban de superar a las de los aislantes convencionales. Este punto negativo queda equilibrado por su capacidad de generar confort (higroscopicidad) y por sus aptitudes referentes a la ecología y la sostenibilidad.

Tabla 3 Tabla resumen de las características del aislante térmico de lana de oveja. Elaboración propia

		CARACTERÍSTICAS TÉCNICA											CARACTERÍSTICAS AMBIENTALES			
		Conductividad térmica λ (W/mK)	Espesor comercial (mm) ($R \geq 1$ m ² K/W)	Densidad P (kg/m ³)	Higroscopicidad (% de su peso)	Resistencia a la difusión vapor μ	Difusión de vapor de agua Sd	Calor específico Cp (J/KgK)	Difusividad térmica α (m ² /s)	Resistencia a hongos e insectos	Resistencia al fuego	Precio (€/m ²) ($R \geq 1$ m ² K/W)	Energía (MJ/kg)	Emisiones (kgCO ₂ /kg)	Reciclable	Biodegradable
Lana de oveja	Manto	0.043	50	14	33	1	0.50	1700	1.81E-06	Si	F	7.50	18.92	1.55	Si	Si
	Placa	0.035	40	35	33	1	0.40	1700	5.88E-07	Si	F	10.29	16.64	1.45	Si	Si
	Granel	0.041	50	20	33	1	0.50	1700	1.21E-06	Si	Bs3d0	4.60	10.96	0.71	Si*	Si

4.4. ALGODÓN

4.4.1. Materia prima

La materia prima para la elaboración del aislante térmico de algodón se obtiene del reciclado de productos textiles de algodón y de retales de la confección. Se trata de una materia prima no totalmente natural, pero si completamente reciclada. En este caso la materia prima no se extrae de forma directa de la naturaleza, de la planta de algodón, ya que este es mucho más rentable e interesante en la industria textil, en parte debido al coste económico y ambiental que supone el cultivo del algodón.

Es una materia prima reciclada y reciclable que, gracias a esa conversión de elemento textil en elemento constructivo, ayuda a la reducción de la generación de residuos y emisiones perjudiciales.^{43 44}

4.4.2. Ciclo de vida del material

4.4.2.1. Obtención de la materia prima

La principal y casi total fuente de materia prima de este tipo de aislante térmico es el reciclado de productos textiles de algodón y retales de la confección de estos. Ocasionalmente se puede encontrar alguna tipología de aislante térmico de algodón en la que esté presente el algodón virgen, el que se ha obtenido directamente de la naturaleza, pero son menos comunes.



Figura 4.19 Materias primas del aislante térmico de algodón. Imagen propia collage

4.4.2.2. Transformación

Puesto que la materia prima son productos textiles, lo primero que se llevará a cabo será un proceso de desfibrado para obtener las fibras de algodón sueltas. Se obtiene una fibra que dada la variedad de texturas y colores que presenta se le denomina comúnmente multifibra. En ella se procura que esté compuesta, como mínimo, por un 70% de algodón y un 20% de otras fibras, con una tolerancia del 5%.

Esta multifibra se tratará con el objetivo de dotarla de propiedades retardantes del fuego y propiedades contra insectos y hongos, asegurando siempre que estos tratamientos sean respetuosos con la salud y el medio ambiente. La multifibra ya tratada es ya una tipología de aislante térmico de algodón y la base para el conformado de placas y mantas.^{45 46}

4.4.2.3. Puesta en obra

El material se debe almacenar e instalar en un entorno protegido de la lluvia y de una excesiva humedad para evitar que se moje y pierda sus propiedades aislantes térmicas.

Se comprobará que las instalaciones eléctricas estén debidamente protegidas y que el material no esté en contacto directo con puntos de calor, guardando unas distancias mínimas o bien protegiendo esos puntos con cajas o elementos específicos diseñados para tal fin.

Para la correcta durabilidad de las propiedades, se colocará con una barrera de vapor dadas las características de cada zona climática.

Este aislamiento térmico no presenta riesgo alguno para la salud de los trabajadores que llevan a cabo su puesta en obra, ya no presenta toxicidad. Precaución se recomienda principalmente la protección de las vías respiratorias y los ojos, así como la utilización de guantes.^{45 47 48}

4.4.2.4. Durabilidad

El aislante térmico de algodón es un material durable en el tiempo si se han seguido correctamente las indicaciones de instalación, mantiene sus propiedades de cohesión y densidad. Es resistente a insectos y hongos por el tratamiento recibido y también debido a este tratamiento, resistente al fuego (clase F), no arde ni es propagador de las llamas, aunque debe evitarse una exposición prolongada a altas temperaturas. También su propiedad higroscópica va a favor de su resistencia a la creación de hongos y mohos, tanto donde está aplicado como en sí mismo, ya que evita la formación de condensaciones y posibles focos de proliferación de estos.^{45 48}

4.4.2.5. Reutilización y reciclado

Es un material aislante térmico reciclado desde su origen, puesto que en gran medida surge como aprovechamiento de los desechos y residuos de la industria textil. Las diferentes tipologías y formatos en las que se comercializa este material son reciclables y reutilizables.

El aislante térmico de algodón se puede recuperar de demoliciones o rehabilitaciones, especialmente los formatos de manto y placa. Después de pasar por un tratamiento de limpieza y desfibrado, este puede ser reincorporado al proceso de fabricación de nuevo aislante térmico de algodón en sus diferentes formatos, a granel, placas o mantos.⁴⁹

4.4.3. Tipos

4.4.3.1. Placas y mantos

Son las presentaciones más comunes de este material aislante térmico. En ambos casos su composición es a base de fibras de algodón en un porcentaje aproximado del 85% y un 15% de otras fibras junto con ligante de poliéster.

Puede ser cortado con herramientas simples, debido a su ligereza, se adaptan con cierta facilidad a las irregularidades, son muy manejables.



Figura 4.20 Aislante térmico de algodón placa.
Imagen propia

Su colocación es prácticamente idéntica e igual de simple que en los formatos de mantos y placas de cáñamo. En su colocación en posición horizontal o con ligera inclinación no necesita ser fijado, mientras que, si su colocación se realiza con una inclinación acusada, o verticalmente, se asegurará con ayuda de fijaciones mecánicas al soporte vertical.^{45 47 48}

4.4.3.2. A granel

Esta solución se compone de un 85% de fibras de algodón aproximadamente y de un 15% de otras fibras. Se aplica manualmente como aislante térmico y acústico en el interior de tabiques, a modo de relleno, en forjados y falsos techos.

Otra forma de aplicación es mediante insuflado o inyectado. Esta forma de aplicar el material aislante térmico resulta muy útil en rehabilitación y en proyectos de regeneración energética. Se hace uso de la cámara de aire presente en los cerramientos doble hoja. El proceso de aplicación es simple y rápido, pues no requiere de obras y se realiza mediante dosificadores especializados, quedando la cámara de aire del cerramiento rellena en su totalidad.^{47 50 51}



Figura 4.21 Aislante térmico de algodón a granel.
Imagen propia

4.4.4. Propiedades

4.4.4.1. Durabilidad

Los principales problemas a los que se enfrenta el aislante térmico de algodón son los relativos a la humedad, los hongos e insectos y el fuego.

En cuanto a las propiedades que lo hacen resistente a la humedad tenemos su transpirabilidad y su capacidad de controlar la condensación. Estas dos características vienen dadas por ser un material higroscópico lo que le confiere la capacidad de absorber y liberar la humedad, hasta un 15% de su peso sin riesgo de creación de hongos, ayudando a crear ambientes secos allí donde está colocado (cámaras de aislamiento no herméticas al vapor).

Respecto a la resistencia a los hongos e insectos y al fuego, estas características deben ser mejoradas e implementadas con los tratamientos adecuados para alcanzar el nivel de exigencia requerido. Su comportamiento frente al fuego es superior al de otros aislamientos térmicos, gracias a los retardantes, no arde ni propaga las llamas, pero ha de evitarse su sobrexposición a altas temperaturas.

Para el correcto mantenimiento en el tiempo de su densidad y cohesión, ha de ser correctamente instalado, siguiendo las indicaciones del fabricante que lo suministra.⁵²

4.4.4.2. Confortable

Es un material con una buena capacidad como aislante térmico, sobre todo en su formato de placas, con una conductividad térmica entorno al 0.034 W/mK, mientras que el peor dato lo ofrece en el formato a granel insuflado con 0.045 W/mK. Esta variación de conductividades térmicas se debe básicamente a que las placas tienen una densidad mayor que el formato a granel insuflado.

Tiene un buen comportamiento como aislante acústico debido a la estructura tridimensional de sus fibras que absorben con eficacia los ruidos aéreos.

La capacidad higroscópica favorece que el aislamiento térmico de algodón actúe como un termorregulador natural. Cuando la temperatura del ambiente sube y calienta las fibras de lana, provoca que estas liberen humedad, enfriándose y por consecuencia enfriando el ambiente y viceversa. También por estas capacidades funciona como un regulador de la humedad de los ambientes.⁵²

4.4.4.3. Ecológico

En el caso de este material, solo se asegura que es ecológico la parte de su producción y no la de la obtención de la materia prima virgen, puesto que nuestra materia prima es un residuo de textil el cual no sabemos cómo se ha generado.

En el proceso de transformación de residuo textil a aislante térmico-acústico se asegura, que los aditivos empleados para la mejora las propiedades son totalmente inofensivos para la salud y para el medio ambiente y que en el proceso la energía empleada es mínima.

El empleo de residuos como materia prima, también lo hace un material ecológico debido a que de esta forma se contribuye a la reducción del empleo de recursos no renovables y la generación de residuos.^{45 49}

4.4.4.4. Sostenible

El aislante térmico de algodón es un material ya con un origen reciclado, puesto que este surge como aprovechamiento de los residuos de la industria textil de algodón. Es también reciclable porque se puede recuperar de la demolición o rehabilitación de edificios, ser tratado, e incorporado de nuevo al ciclo de fabricación de aislante térmico de algodón para cualquiera de los formatos ofrecidos.⁴⁹



Figura 4.22 Ciclo de vida del aislante térmico de algodón. Imagen de RMT-NITA

4.4.5. Ventajas

Como ventajas se pueden destacar:

- Buen aislante térmico y un notable aislante acústico que favorece espacios confortables
- Es un gran regulador de la humedad por su alto grado de capacidad higroscópica. Traspirable y permeable al vapor de agua, con lo que evita la creación de hongos y bacterias en el interior de los cerramientos.
- Resistente a insectos y hongos por el tratamiento recibido. Mantiene sus propiedades intactas a lo largo de su vida útil, gran durabilidad.
- Proceso de fabricación ecológico, los tratamientos que recibe son prácticamente inocuos para el medio ambiente, con emisiones muy bajas de CO₂.
- Sostenible, pues es un material reciclado y reciclable.

4.4.6. Inconvenientes

Es un material de los más equilibrados en sus cualidades y características por lo que apenas presenta inconvenientes destacables:

- No debe estar en contacto con el agua, puesto que perdería parte de sus propiedades.

4.4.7. Conclusión

El aislante térmico de algodón es un buen aislante térmico y debido a su estructura interna, un aislante acústico a considerar. Su gran capacidad de regulación de humedad y su transpirabilidad, le permiten crear entornos desfavorables para la formación de humedades y hongos, hecho que juega a favor de su alta durabilidad. Por estas tres propiedades, es posible afirmar que este aislante térmico es capaz de contribuir en gran medida a la generación de ambientes confortables.

Es un material con un proceso de transformación ecológico, reciclado, reciclable y sostenible, ya que transforma residuos en materia prima, su producción a penas genera CO₂ y la reutilización no supone una merma en sus propiedades.

Enumeradas las características, se puede confirmar que es un material con unas buenas prestaciones en cuanto a la generación de confort en los espacios que sirve. Es un material muy equilibrado respecto a los materiales aislantes térmicos presentes en este trabajo. Destacaría de forma notable por encima de los aislantes térmicos convencionales al poner en valor sus características ecológicas y de sostenibilidad.

Tabla 4 Tabla resumen de las características del aislante térmico de algodón. Elaboración propia

		CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS											CARACTERÍSTICA AMBIENTALES			
		Conductividad térmica λ (W/mK)	Espesor comercial (mm) ($R \geq 1 \text{ m}^2\text{K/W}$)	Densidad P (kg/m ³)	Higroscopicidad (% de su peso)	Resistencia a la difusión vapor μ	Difusión de vapor de agua Sd	Calor específico Cp (J/KgK)	Difusividad térmica α (m ² /s)	Resistencia a hongos e insectos	Resistencia al fuego	Precio (€/m ²) ($R \geq 1 \text{ m}^2\text{K/W}$)	Energía (MJ/kg)	Emisiones (kgCO ₂ /kg)	Reciclable	Biodegradable
Algodón	Manto	0.036	50	25	24	1	0.50	1100	1.31E-06	Si	F	6.00	9.69	0.70	Si	Si
	Placa	0.034	40	60	24	1	0.40	1100	5.15E-07	Si	F	9.00	9.69	0.70	Si	Si
	Granel	0.042	50	20	24	1	0.50	1100	1.91E-06	Si	Bs2d0	2.20	7.46	0.46	Si*	Si

4.5. CELULOSA

4.5.1. Materia prima

La materia prima que se emplea para la elaboración del aislante térmico de celulosa proviene de papel de periódico, no vendido, que ha pasado por un proceso de selección. Esta es por tanto una materia prima que se obtiene mediante un reciclado y no directamente de la naturaleza.

Es una materia prima reciclada y reciclable con la cual se ayuda a la reducción de la generación de residuos y emisiones perjudiciales.^{53 54}



Figura 4.23 Materia prima y resultado del triturado. Imagen de Biohaus

4.5.2. Ciclo de vida del material

4.5.2.1. Obtención de la materia prima

El suministro de la materia prima se lleva a cabo mediante la recogida de periódicos que casi en su totalidad no han sido vendidos.

4.5.2.2. Transformación

El procedimiento para obtener el aislante térmico de celulosa a partir de periódicos no es complejo. El papel de periódico es molido y posteriormente es tratado con sales de bórax para otorgarle resistencia frente al fuego y también resistencia frente a insectos y hongos.⁵⁴

En este momento del proceso de transformación ya se tiene una solución de aislamiento térmico de celulosa, a granel; pero si se quiere llegar al formato de planchas será necesaria la adición de un material plástico que actúe como ligante.

4.5.2.3. Puesta en obra

Se comprobará que las instalaciones eléctricas estén debidamente protegidas y que el material no esté en contacto directo con puntos de calor, guardando unas distancias mínimas o bien protegiendo esos puntos con cajas o elementos específicos diseñados para tal fin. No presenta riesgo alguno para la salud de los trabajadores que llevan a cabo su puesta en obra.⁵⁴

La forma de aplicación de los diferentes formatos del material se abordará en el apartado 5.3. Tipos.

4.5.2.4. Durabilidad

El aislante térmico de celulosa es un material con una alta durabilidad. El tratamiento con sales de bórax le aporta la cualidad de no ser atacable ni por insectos, ni por los hongos, es prácticamente imputrescible. En cuanto a la reacción frente al fuego, es un material con una resistencia al fuego Bs2d0, que nos indica que no es inflamable.

Otra propiedad, la higroscópica, favorece su resistencia a la creación de hongos y mohos tanto donde está aplicado como en sí mismo, ya que ejerce como controlador de la humedad de forma excelente.

Mantiene sus propiedades de cohesión y densidad a lo largo de su vida útil.^{55 56}

4.5.2.5. Reutilización y reciclado

Este es un material reciclado desde su inicio ya que surge como modo de aprovechamiento y reciclado de un residuo. Las diferentes tipologías y formatos en las que se presenta este material son reciclables y reutilizables, puesto que apenas han sido transformadas y gracias a su durabilidad, mantienen sus propiedades prácticamente intactas a lo largo de toda su vida útil.

El aislante térmico de celulosa es recuperable de procesos de demolición, más fácilmente el formato de placas. El material recuperado será tratado adecuadamente para posteriormente ser de nuevo introducido en el proceso de fabricación de celulosa a granel o placas.⁵⁵

4.5.3. Tipos

El aislante térmico de celulosa se puede encontrar en el mercado de dos formas diferentes:

4.5.3.1. A granel

Es el formato de presentación más extendido con una composición entorno al 90% de papel de periódico y un 10% en aditivos (sales de bórax). Su colocación en obra consta de tres métodos diferentes, cada uno ajustándose a las necesidades del espacio o elemento a aislar. Para llevar a cabo la elección del método a utilizar, se hará un estudio para determinar el más conveniente:



*Figura 4.24 Aislante de celulosa a granel
Imagen de ecogreenhome.es*

- **Insuflado:** consiste en el relleno de cámaras de aire ya existentes mediante la realización de agujeros en una de las dos paredes que la contienen. Mediante estos agujeros, estratégicamente distribuidos, se introduce el aislante térmico de celulosa a granel junto con aire a presión, lo que hace que el aislante térmico se distribuya uniformemente en la cámara. Por último se sellarán los agujeros realizados. Este método es recomendable en obra nueva y rehabilitación. (ver figura 4.25 y 4.26).
- **Proyectado:** este método utiliza la celulosa humedecida, la cual se proyecta directamente en la pared cubriéndola al 100%. Después se levantará la hoja interior del cerramiento. En el caso de que el cerramiento se esté realizando con soluciones de placas de yeso laminado, después de la proyección del material se pasará un rodillo para regular la superficie e igualarla a la altura de los perfiles, facilitando así la colocación de la placa de yeso laminado restante. Es un método diseñado para obra nueva.
- **Soplado:** consiste en la aplicación del material sobre el forjado a modo de manta continua, es ideal para aplicar en forjados bajo cubierta. ^{56 57}



Figura 4.26 Momento de insuflado de aislante de celulosa
Imagen de ecospai.com

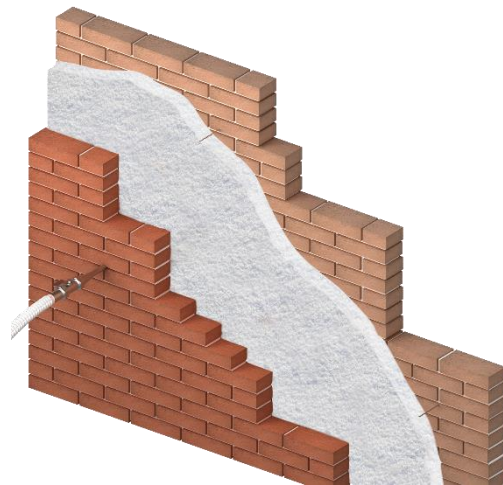


Figura 4.26 Recreación de insuflado de celulosa
Imagen de ecogreenhome.es

4.5.3.2. Placas

Esta solución es mucho menos común y debido a la necesidad de mantener una forma estable precisa de agentes ligantes, quedando compuesta por un 80% de fibra de celulosa y un 20% de plásticos ligantes ⁵⁵. Se colocará con elementos de sujeción al paramento si se coloca con una inclinación acusada o en vertical (interior de cerramientos), mientras que si se coloca en elementos horizontales no necesitará de dicha sujeción.

4.5.4. Propiedades

4.5.4.1. Durabilidad

Las dificultades que los aislamientos térmicos de origen orgánico deben superar son las relacionadas con el desarrollo de hongos e insectos, con la presencia de humedad y con la reacción respecto al fuego.

Contra el desarrollo de hongos e insectos, en la fase de fabricación del material, se adicionan sales de bórax que le aportan o mejoran la resistencia a dicho desarrollo. Estas sales son de origen natural y nada tóxicas. Este tratamiento también incorpora propiedades ignífugas al material, alcanzando la clase Bs2d0, la cual indica que no es inflamable, no propaga la llama y no se derrite.

En cuanto a las propiedades que lo hacen resistente a la humedad tenemos su transpirabilidad y su capacidad de controlar la condensación. Estas dos características vienen dadas por su capacidad higroscópica, es decir, absorbe y libera la humedad, entorno al 14% de su peso, sin pérdida de cualidades aislantes térmicas, ayudando a crear ambientes secos allí donde está colocado (cámaras de aislamiento no herméticas al vapor).^{54 58}

4.5.4.2. Confortable

El aislante térmico de celulosa es un material con un buen comportamiento como aislante térmico. Ofrece una conductividad térmica de entre 0.038 W/mK y 0.040 W/mK y además tiene un gran desfase térmico, de 8 a 12 horas. Este desfase térmico (concepto estrechamente relacionado con la difusividad térmica que se verá más adelante) indica el tiempo que tarda un material en transmitir una variación de temperatura de una de sus caras a otra.

Debido a su alta porosidad es un muy buen aislante acústico, con un coeficiente de absorción acústica elevado en prácticamente todas las frecuencias.

Otra característica que hace a este material comfortable es su capacidad higroscópica. Esta característica permite que se comporte como un termorregulador natural. Cuando sube la temperatura del ambiente, el aislante térmico de celulosa libera humedad, lo que provoca que se enfríe y por consecuencia se refresque el ambiente al que sirve, este proceso funciona igualmente de forma inversa. Además, la capacidad higroscópica también le permite actuar como un buen regulador de la humedad.^{59 60}

4.5.4.3. Ecológico

Al igual que en el caso del aislante térmico de algodón, la materia prima se obtiene del reciclado de un producto ya procesado. En este sentido no se puede saber qué grado de ecología se ha respetado para llevar a cabo ese producto, periódicos, por lo que hablaremos de material ecológico a partir del proceso de transformación y/o fabricación.

El proceso de transformación es sencillo y necesita de poca energía para llevarse a cabo, unos 5.55 Kwh/m³. El punto comprometido del proceso es la adición de sustancias para la mejora de propiedades. Estas sustancias son sales de bórax, que se asegura que son totalmente naturales e inofensivas para el medio ambiente.

El empleo de una materia prima que proviene de un residuo también hace a este material ecológico, ya que de esta forma se evita el empleo de nuevos recursos y la emisión de residuos al medio natural.⁵⁸

4.5.4.4. Sostenible

El factor sostenible de este material viene dado por ser reciclado y reciclable o reutilizable. Reciclado por su origen, se utilizan periódicos sin vender para procesarlos y convertirlos en aislante térmico, y reciclable porque puede ser recuperado de demoliciones o rehabilitaciones para ser incorporado al proceso de fabricación del aislante térmico, siendo esto posible gracias a su larga durabilidad.

4.5.5. Ventajas

Como ventajas se pueden destacar:

- Es un gran aislante tanto térmico como acústico.
- Por su higroscopicidad, es un gran regulador de la humedad y de la temperatura. Al ser transpirable y permeable al vapor de agua evita que hongos y bacterias crezcan en su interior y en los cerramientos donde está colocado.
- La aplicación en su formato a granel asegura un aislamiento térmico continuo, sin juntas y sin posibles puentes térmicos.
- Resistente a insectos y hongos por el tratamiento recibido. Mantiene sus propiedades intactas a lo largo de su vida útil, gran durabilidad.
- En el caso de rehabilitaciones, no se necesitan hacer obras para su aplicación.
- El proceso de fabricación es sencillo, emplea poca energía, y los aditivos que se utilizan no son dañinos para el medio ambiente. Ecológico.
- Sostenible, pues es un material reciclado desde su origen y reciclable.

4.5.6. Inconvenientes

Los inconvenientes de este material son escasos, el único punto que podría suponer alguna desventaja frente a los materiales aislantes térmicos convencionales es su valor de conductividad térmica, muy ligeramente superior al de dichos aislantes térmicos.

4.5.7. Conclusión

El aislante térmico de celulosa tiene un buen comportamiento como aislante térmico (0.038 – 0.040 W/mK) y también como aislante acústico gracias a su gran porosidad. La capacidad higroscópica que tiene este material también le permite controlar, en la medida de lo posible, la humedad y a la vez servir de apoyo a su comportamiento como aislante térmico. Es por estos motivos un material que promueve la creación de ambientes confortables.

En términos de durabilidad, se presenta un material que ha sido mejorado con la incorporación de aditivos naturales en su fabricación. La sal de bórax le aporta resistencia a hongos e insectos y crea un material con una resistencia al fuego bastante aceptable.

Es un material ecológico, reciclado, reciclable y sostenible, ya que transforma residuos en materia prima, su producción genera cantidades muy bajas de CO₂ comparadas con las emisiones de los aislantes térmicos habituales, y la reutilización no supone una merma en sus propiedades

Finalmente se puede decir que el aislante térmico de celulosa es un material con buenas características para crear espacios con un grado de confort alto de forma respetuosa con el medio ambiente. Si es comparado con los aislantes térmicos tradicionales teniendo en cuenta todas las ventajas ecológicas y de sostenibilidad que ofrece, se está ante un material óptimo para remplazar a estos en la construcción.

Tabla 5 Tabla resumen aislamiento térmico de celulosa. Elaboración propia

	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS											CARACTERÍSTICAS AMBIENTALES			
	Conductividad térmica λ (W/mK)	Espesor comercial (mm) ($R \geq 1 \text{ m}^2\text{KW}$)	Densidad ρ (kg/m ³)	Higroscopicidad (% de su peso)	Resistencia a la difusión vapor μ	Difusión de vapor de agua S_d	Calor específico C_p (J/KgK)	Difusividad térmica α (m ² /s)	Resistencia a hongos e insectos	Resistencia al fuego	Precio (€/m ²) ($R \geq 1 \text{ m}^2\text{KW}$)	Energía (MJ/kg)	Emisiones (kgCO ₂ /kg)	Reciclable	Biodegradable
Celulosa Granel	0.038	40	40-60	30	1-2	0.60	2100	3.62E-07	Si	B-s1d0	2.12	5.55	-0.65	Si*	Si

4.6. FIBRA DE MADERA

4.6.1. Materia prima

La materia prima utilizada para elaborar este aislante térmico es madera triturada, desde pequeños restos de la industria a pequeñas ramas. Esta madera no ha pasado por ningún proceso en el que se le hayan añadido ningún tipo de aditivos o haya sufrido ninguna modificación, por tanto es una materia totalmente natural y reciclada.⁶¹

4.6.2. Ciclo de vida del material

4.6.2.1. Obtención de la materia prima

La fuente de materia prima de este aislante térmico proviene de la industria maderera y forestal perteneciente a la silvicultura, es decir, bosques cultivados para el aprovechamiento de la madera. Esta industria en la preparación, limpieza y procesamiento de la madera genera residuos en forma de serrines, desechos de cortes, etc.⁶¹

4.6.2.2. Transformación

El proceso comienza con el triturado de la materia prima en trozos más pequeños para adecuarlos a la siguiente etapa a la que tienen que ser sometidos.

Tras el triturado de la materia prima, se procederá al desfibrado. Mediante un proceso de aplicación de calor y fuerza mecánica se obtendrán las fibras de madera que son la base de los aislamientos térmicos de fibra de madera. En este punto el proceso puede seguir dos caminos:

- **Proceso húmedo:** las fibras obtenidas tras el desfibrado se mezclan con agua hasta crear una pasta homogénea. Según las características que se le quiera dar al material se le podrán añadir diferentes compuestos, generalmente plásticos, los cuales darán como resultado paneles más o menos rígidos. Después de mezclar todos los componentes, la pasta resultante se verterá creando una capa de un grosor determinado, que pasará por un proceso de secado, recortado y perfilado hasta obtener las dimensiones y la forma deseada. (ver figura 4.27)
- **Proceso en seco:** al igual que el anterior, una vez se tienen las fibras de madera, estas pasaran por un sistema de secado. Posteriormente se les adiciona los componentes que sean necesarios para la obtención del material con las características deseadas. En este punto y sin la adición de aditivos ligantes, tenemos la solución de aislante térmico de fibra de madera a granel. Después de agregar los aditivos se pasa al proceso en el cual se aplica una mezcla de vapor y aire para que los componentes ligantes puedan reaccionar. Finalmente los tableros resultantes se cortan y perfilan según las necesidades que se requieran. (ver figura 4.28)

En ambos casos, los restos de escuadrado y perfilado de los paneles, son devueltos al desfibrado para su reincorporación al proceso de transformación.^{62 63}

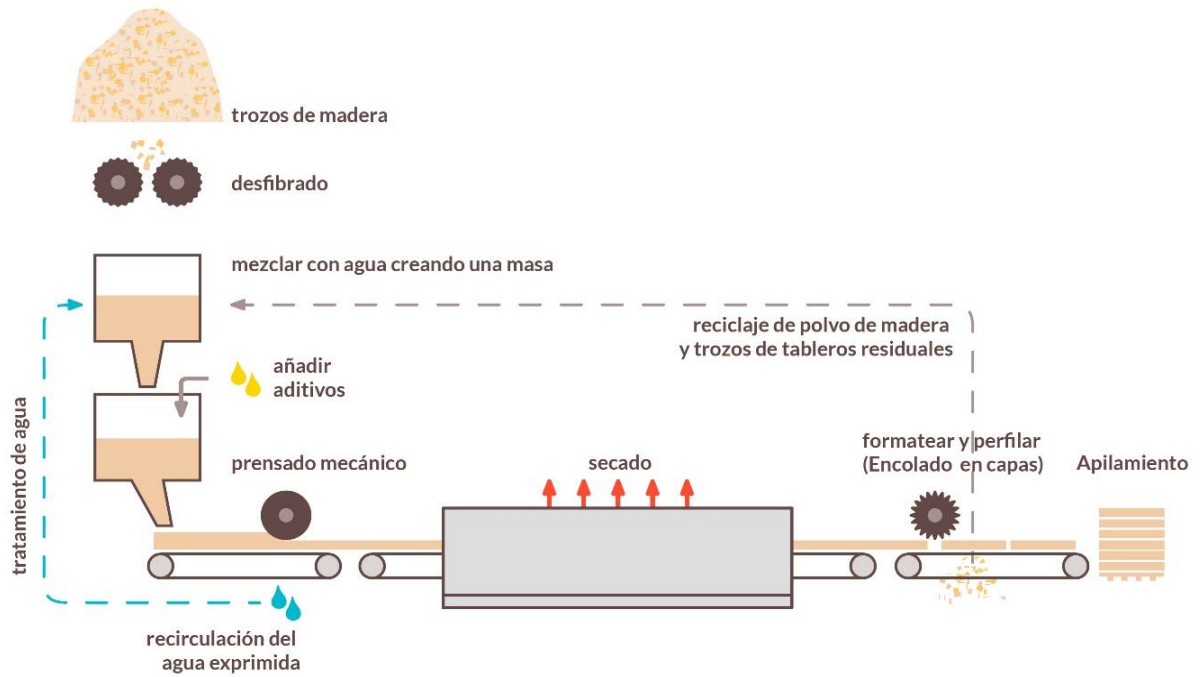


Figura 4.27 Proceso de fabricación húmedo. Imagen de GUTEX

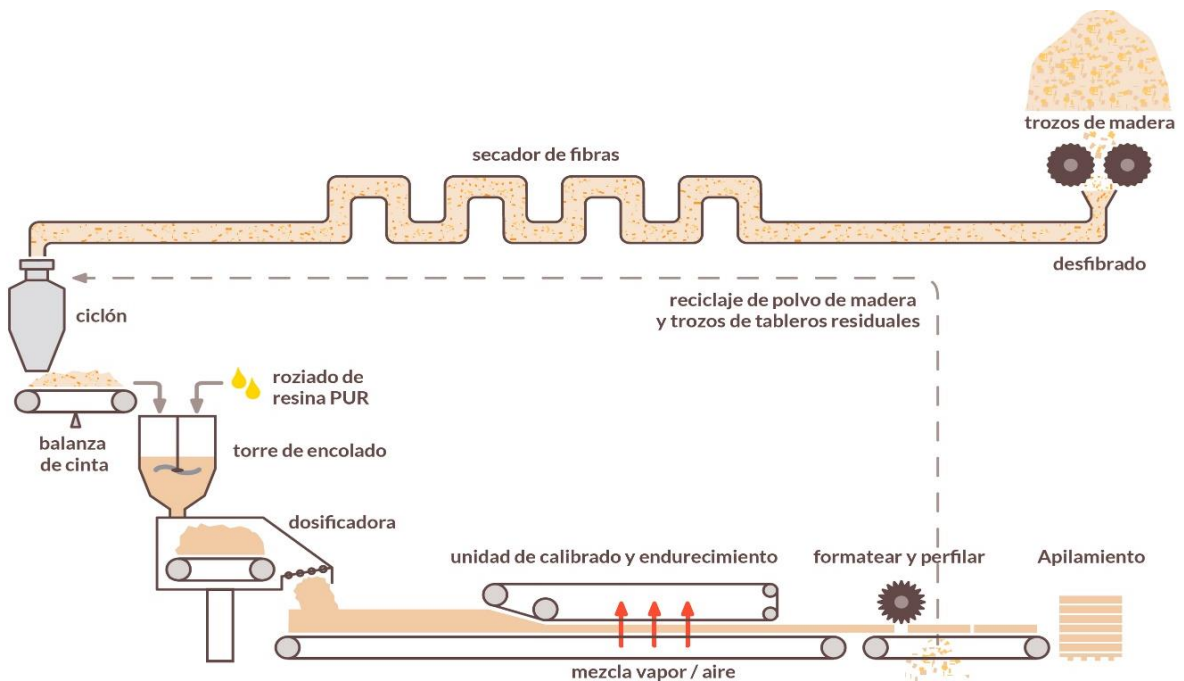


Figura 4.28 Proceso de fabricación en seco. Imagen de GUTEX

4.6.2.3. Puesta en obra

El material se debe almacenar horizontalmente en un entorno seco y lejos de fuentes de combustión. Se protegerá de los golpes, sobre todo sus cantos.

Se comprobará que las instalaciones eléctricas estén debidamente protegidas y que el material no esté en contacto directo con puntos de calor.

Se debe evitar la colocación de juntas en cruz en el mismo plano. En el caso de disponer varias capas del material, procurar colocar mediante el sistema de "matajuntas".

Por su ligereza es un material fácil de manipular. Se corta fácilmente con herramientas simples.

La colocación en todo caso habrá de respetar las directrices marcadas por el fabricante o el suministrador del material, asegurándonos así su correcto funcionamiento y durabilidad.

Este aislamiento térmico no presenta riesgo alguno para la salud de los trabajadores que llevan a cabo su puesta en obra, pero se recomienda principalmente la protección de las vías respiratorias y los ojos, así como la utilización de guantes.^{64 65 66}

4.6.2.4. Durabilidad

La adición de componentes en el proceso de fabricación es principalmente lo que le da su alta durabilidad. Estos aditivos hacen que tenga propiedades resistentes frente a hongos e insectos, así como cierta resistencia al fuego. Por las propiedades de la materia prima que lo compone tiene un notable comportamiento a la humedad, generando ambientes proclives a su conservación.

4.6.2.5. Reutilización y reciclado

Puesto que la materia prima de este material proviene del aprovechamiento de residuos de la industria maderera, desde su origen ya es un material reciclado. Además debido a su durabilidad es también un material que permite su reutilización. Es recuperable de procesos de demolición o rehabilitación de edificios siempre que no haya sido contaminado por algún tratamiento posterior en obra. Una vez recuperado, puede ser triturado, desfibrado, etc. para ser introducido de nuevo en el proceso de fabricación del material.⁶⁷

4.6.3. Tipos

El aislante térmico de fibra de madera se comercializa en multitud de formatos con el fin de ser válido para la mayor cantidad de soluciones constructivas posibles. Todas estas soluciones se clasificarán en tres conjuntos:

4.6.3.1. A granel

Es una solución adecuada para llevar a cabo aislamientos térmicos en obras ya realizadas y en rehabilitaciones, pues no necesita obras para su aplicación además de ser muy rápida. De todas las tipologías de aislante térmico de madera es una de las que menos aditivos contiene por no tener que mantener una forma concreta. Su conductividad térmica está en torno a 0.038 W/mK . Su aplicación se lleva a cabo mediante insuflado. Se inyecta fibra de madera junto con aire a presión dentro de las cámaras a aislar por medio de agujeros realizados en el cerramiento, después de haber realizado un estudio previo, que finalmente serán sellados. En el caso de forjados bajo cubierta también se puede aplicar mediante soplado, distribuyendo el aislante térmico a modo de manta continua.^{68 69}



Figura 4.29 Aislante térmico fibra de madera a granel. Imagen GUTEX

4.6.3.2. Panel flexible

Este tipo de panel está destinado al aislamiento térmico en cubierta (bajo forjado), paredes y suelos (que no sean transitables). Se colocan entre los montantes de estructuras de madera, cabríos, viguetas y en el interior de los cerramientos, también con una estructura que permita su sujeción. Es compresible, flexible y con la capacidad de adaptarse fácilmente a contornos irregulares. Por estas razones se trata de un panel con una fácil instalación que ofrece una conductividad térmica de 0.036 W/mK .^{70 71}



Figura 4.30 Aislante térmico fibra de madera panel flexible. Imagen de GUTEX

4.6.3.3. Panel rígido

En esta categoría se pueden encontrar paneles con usos más específicos ya que sus propiedades han sido ajustadas para ello. Se pueden encontrar paneles impermeables, con una resistencia a la compresión mejorada, con diferentes acabados, machihembrados, con terminaciones para permitir enlucidos posteriores, para soluciones de SATE, etc. Dentro de los disponibles, los más polivalentes y sin ningún tipo de terminación especial, ofrecen valores de conductividad térmica de entre 0.037-0.038 W/mK.^{70 71}



Figura 4.31 Aislante térmico fibra de madera panel rígido. Imagen GUTEX

4.6.4. Propiedades

4.6.4.1. Durabilidad

El aislante térmico de fibra de madera ofrece una alta durabilidad debido tanto a las propiedades de la materia prima que lo componen, como a las que le proporcionan los aditivos agregados en el proceso de fabricación.

Debido a los aditivos, resiste a hongos e insectos al igual que al fuego. Para conseguir esta resistencia, generalmente, se añaden sales de bórax de origen natural, sin perjuicio al medio ambiente y no tóxicas. La resistencia al fuego alcanzada por la mayoría de las soluciones de este tipo aislante térmico se corresponde con la Euroclase E.

Por las características propias de la materia prima se tiene un aislante térmico con capacidad higroscópica, que le permite absorber y expulsar la humedad con facilidad, y abierto a la difusión de vapor. Por estas dos características es un buen controlador de la humedad y un precursor de crear ambientes secos, hostiles a la proliferación de hongos y mohos.

Finalmente, es importante respetar las recomendaciones del fabricante para llevar a cabo una correcta instalación que permita aprovechar al máximo el material y no mermar sus propiedades.⁶⁷

4.6.4.2. Confortable

Es un material con buenas características como aislante térmico con valores de conductividad que varían desde los 0.036 a los 0.038 W/mK en los mejores datos para cada tipo de conjunto abordado anteriormente. También se puede destacar el dato de la capacidad calorífica específica, 2100 J/KgK, que nos indica que el aislante térmico de fibra de madera es capaz de mantener la temperatura estable frente a cambios de temperatura.⁷²

La capacidad higroscópica y el estar abierto a la difusión de vapor, le permite ejercer como un regulador de la humedad, protegiendo los elementos constructivos y normalizando los niveles de humedad de los espacios que sirve. Es capaz de absorber hasta el 15% de su peso en humedad sin que afecte a sus cualidades aislantes térmico-acústicas.⁷³

Tiene un buen comportamiento como aislante acústico debido a su alta densidad y a la estructura de poro abierto.

4.6.4.3. Ecológico

La propiedad de ser un material ecológico se la otorga su proceso de fabricación. Se asegura que no se emplean sustancias tóxicas ni dañinas para el medio ambiente. Además la producción cuenta con sistema de retorno de desechos para volver a ser aprovechados, con lo que se reducen notablemente los residuos.

Como ya se ha mencionado, existen dos procesos para llevar a cabo la producción del material, el seco y el húmedo. Si se ha de escoger uno de los dos, ecológicamente, el proceso en seco sería el elegido, ya que en este no es necesaria la utilización de agua y la energía empleada es menor.

También se puede considerar un material ecológico por el empleo de residuos como materia prima, reduciendo el empleo de nuevos recursos y la producción de residuos.

4.6.4.4. Sostenible

La materia prima de este material proviene de madera de bosques en los que se lleva a cabo la silvicultura, garantizando que es aprovechada y cultivada mediante prácticas sostenibles.

Puesto que es un material que aprovecha los residuos como materia prima, se considera un producto reciclado. Además, por su durabilidad, se puede recuperar de la demolición o rehabilitación de edificios para ser tratada y volver al ciclo de fabricación del material, por lo que también es un material reciclable.

4.6.5. Ventajas

Como ventajas se pueden destacar:

- Buena capacidad de aislamiento térmico y acústico.
- Por su capacidad higroscópica es un gran regulador de la humedad, por lo que actúa en favor de la durabilidad de los cerramientos y de el mismo.
- La capacidad de regulación de la humedad también lo hace un material confortable, pues favorece ambientes interiores de la vivienda con humedades controladas.
- Resistente a insectos y hongos por el tratamiento recibido. Mantiene sus propiedades intactas a lo largo de su vida útil, gran durabilidad.
- El proceso de fabricación es ecológico: su nivel de emisiones de CO₂ es muy bajo, llegando incluso a ser negativo en el formato a granel. Los aditivos y productos empleados no son dañinos para el medio ambiente, y la generación de residuos es mínima.
- Sostenible, pues es un material reciclado y reciclable.
- Puesta en obra fácil, no es irritante y su toxicidad es prácticamente nula.
- De los materiales analizados, es el que más soluciones presenta, lo que lo hace apto para casi todo tipo de sistemas constructivos.

4.6.6. Inconvenientes

También podemos encontrar inconvenientes

- Las principales empresas que lo suministran están fuera de España, por lo que deja de ser un producto de proximidad y aumentan las emisiones de CO₂ por el transporte. La existencia en España de empresas que llevan a cabo todo el proceso es muy baja hoy en día.
- Los niveles de energía que se tiene que aportar para llevar a cabo su producción son elevados si son comparados con los valores que ofrecen los demás aislantes térmicos sostenibles, exceptuando los datos del aislante de lana de oveja, que son ligeramente inferiores.

4.6.7. Conclusión

El aislante térmico de fibra de madera se puede considerar un material que promueve la creación de ambientes confortables, pues tiene una capacidad como aislante térmico destacable debido a su correcto valor de conductividad térmica y a la capacidad de mantener la temperatura estable durante horas. La higroscopicidad también juega un papel relevante, ya que le permite ser un gran regulador de la humedad evitando problemas de humedades, hongos, etc.

Es un material ecológico por su correcto proceso de elaboración. Reciclado por su origen en residuos de la industria maderera. Reciclable por la posibilidad de recuperación de los productos e incorporarlos de nuevo a la cadena productiva y sostenible, ya que transforma residuos en materia prima, su producción a penas genera CO₂ y conlleva el cultivo de bosques en régimen de silvicultura.

Una vez resaltadas las características, se puede decir que es un material apto para la utilización como aislante térmico frente a los que se viene utilizando hasta ahora. Sus prestaciones son ligeramente más bajas y el precio algo más elevado, pero las características de sostenibilidad, ecología y respeto del medio le hacen posicionarse como firme sustituto de los aislantes térmicos plásticos.

Tabla 6 Tabla resumen características de aislamiento térmico de fibra de madera. Elaboración propia

		CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS											CARACTERÍSTICAS AMBIENTALES			
		Conductividad térmica λ (W/mK)	Espesor comercial (mm) ($R \geq 1$ m ² K/W)	Densidad P (kg/m ³)	Higroscopicidad (% de su peso)	Resistencia a la difusión vapor μ	Difusión de vapor de agua Sd	Calor específico Cp (J/KgK)	Difusividad térmica α (m ² /s)	Resistencia a hongos e insectos	Resistencia al fuego	Precio (€/m ²) ($R \geq 1$ m ² K/W)	Energía (MJ/kg)	Emisiones (kgCO ₂ /kg)	Reciclable	Biodegradable
Fibra de madera	Panel flexible	0.036	40	50	20	2	0.80	2100	3.43E-07	Si	E	4.62	19.59	0.20	Si	Si
	Panel rígido	0.038	40	110	20	4	1.60	2100	1.65E-07	Si	E	8.00	20.40	0.23	Si	Si
	Granel	0.038	40	40	20	2	0.80	2100	4.52E-07	Si	E	2.06	11.15	-0.34	Si	Si

5. COMPARATIVA DE LOS MATERIALES AISLANTES TÉRMICOS

5.1. CRITERIOS DE COMPARACIÓN

Debido a la gran variedad de soluciones para diferentes sistemas que se ha expuesto anteriormente, se deben establecer unos criterios que delimiten y establezcan un punto de partida comparativo homogéneo y conciso.

En primer lugar se elegirán aquellas tipologías de materiales aislantes térmicos cuya aplicación sea compatible con el sistema de fachada de dos hojas con cámara de aire y aislamiento, por ser la más extendida en la construcción y la que presenta mejores resultados frente a los problemas tanto térmicos como acústicos. También se incluirán aquellas tipologías de material aislante térmico que sean adecuadas para la rehabilitación de fachadas de doble hoja ya existentes.

Para poder comparar los distintos espesores que se han de aplicar con cada material para llegar a una resistencia térmica concreta, se establecerá una resistencia térmica fija de $R = 1 \text{ m}^2\text{K/W}$. De esta forma el espesor se calculará a partir de la conductividad térmica propia de cada material y para una resistencia térmica tipo. Así se podrá comparar el espesor necesario de cada material para alcanzar una misma resistencia térmica. El espesor indicado en la tabla, el espesor más próximo superior disponible comercialmente de cada material. $\text{Espesor (e)} = R \cdot \lambda \text{ [mm]}$.

Las diversas características que aparecen en la siguiente tabla también servirán de puntos de comparación entre los materiales:

Conductividad térmica, $\lambda \text{ [W/mK]}$: indica la capacidad de transmisión de calor y representa la facilidad con la que el material lo conduce. Cuanto menor sea el valor de λ , mayor será la capacidad de aislamiento térmico.

El **espesor**, $e \text{ [mm]}$, se utilizará como elemento para poder ver de forma más visual la diferencia de poder aislante térmico entre los materiales.

La **higroscopicidad** [%]: capacidad que tiene un material de absorber o difundir humedad al aire. Promueve el equilibrio de humedad en el interior. Cuanto mayor sea el valor, mejor comportamiento hidrófilo tendrá el material. (Caballero, 2019)

Difusión de vapor de agua, S_d : es la capacidad de un material para trasladar el vapor de agua a través de él. Los materiales con un buen valor de difusión de vapor de agua apenas influyen en la humedad del ambiente exterior pero si facilitan la expulsión de ese vapor del interior al exterior. Es el producto de μ (resistencia de difusión al vapor) y el espesor del material. $S_d = \mu \cdot e$. Siendo:

<4	óptimo	
4-7	satisfactorio	
7-15	malo	
15-25	muy malo	
>25	barrera impermeable al vapor	(Caballero, 2019)

Calor específico, C_p [J/kgK] y Difusividad o difusión térmica, α [m²/s]: El calor específico da información sobre la capacidad de almacenamiento de calor de un material, mientras que la difusividad térmica expresa la capacidad de un material para transmitir una variación de temperatura en un determinado tiempo.⁷⁴

$$\text{Difusividad térmica } [\alpha] = \frac{\lambda}{\rho \cdot C_p} \left[\frac{m^2}{s} \right]$$

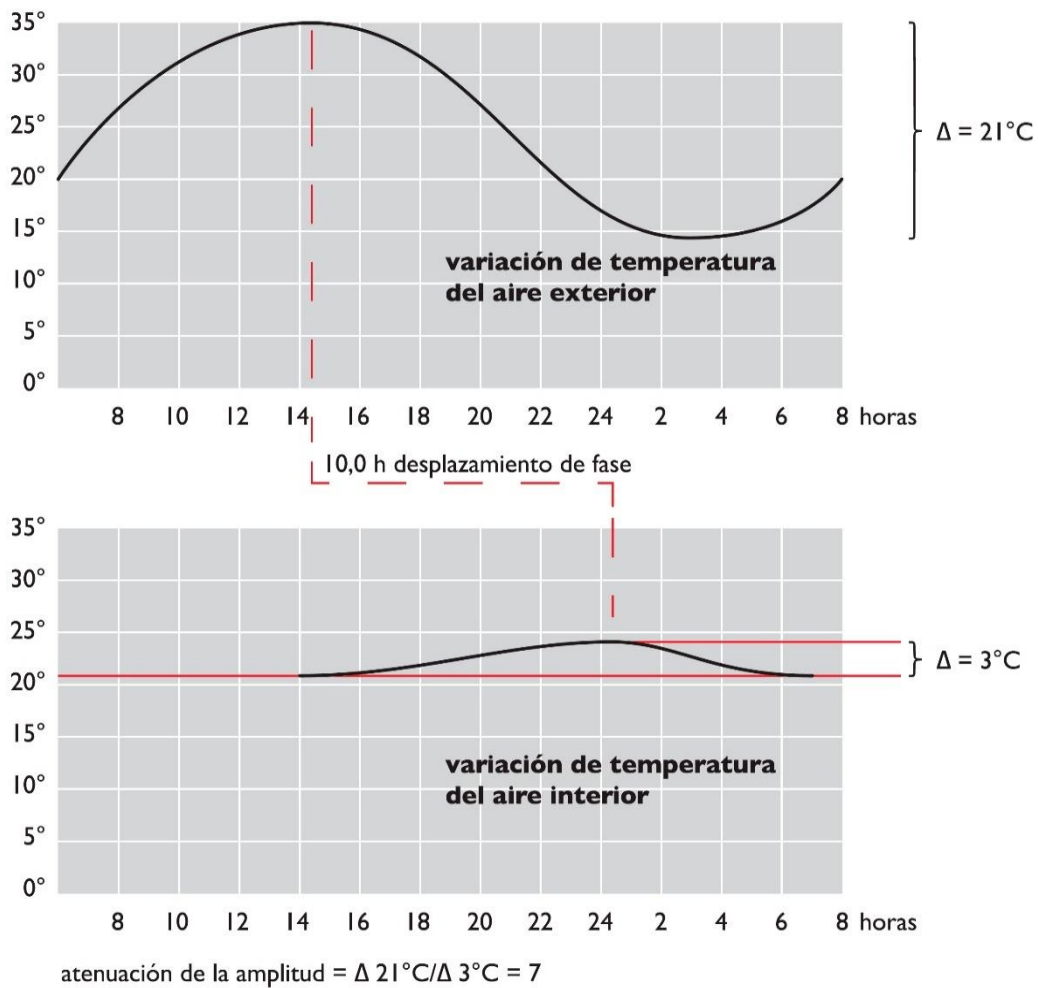


Figura 5.1 Efecto de la difusividad térmica de un material aislante térmico. Imagen de GUTEX

Cuanto más bajo sea el valor de difusividad térmica, más tardará el material en llevar una variación de temperatura del exterior al interior. Esta propiedad permitirá a la solución constructiva, por ejemplo en verano, que el pico de calor de medio día no llegue o llegue a media noche, momento en el que el material comienza a evacuar ese calor de nuevo al exterior.

La **resistencia al fuego** se expresa según las Euroclases: siendo la A la correspondiente a materiales apenas contribuyen al desarrollo del fuego, mientras que en la clase F se encuentran los materiales que no tienen ninguna o escasa característica frente a él.

Precio [€/m²]: este aspecto también es importante, ya que a priori, es la principal desventaja de los aislantes térmicos ecológicos frente a los tradicionales. El precio que se indica en la tabla hace referencia al espesor obtenido de la fijación de $R = 1 \text{ m}^2\text{K/W}$ y su espesor comercial correspondiente. En el caso de los aislantes térmicos a granel, puesto que generalmente el precio indicado por el fabricante viene dado en €/m³, se ha convertido dicho precio en €/m² para poder unificar el criterio de comparación.

En el apartado de características ambientales, se encuentran los datos de **Energía consumida** y las **Emisiones totales de CO₂** a lo largo de su ciclo de vida, desde la extracción de la materia prima hasta su posible reciclado o gestión como residuo. Estas características vienen dadas por la Declaración Ambiental del Producto, que tienen en cuenta todas, o determinadas etapas de la vida útil del material. También se incluye la posibilidad de ser un material **reciclable** y/o **biodegradable**, marcando con un “ * ” aquellos que pese a poder ser reciclables presentan una mayor dificultad debido a su formato.

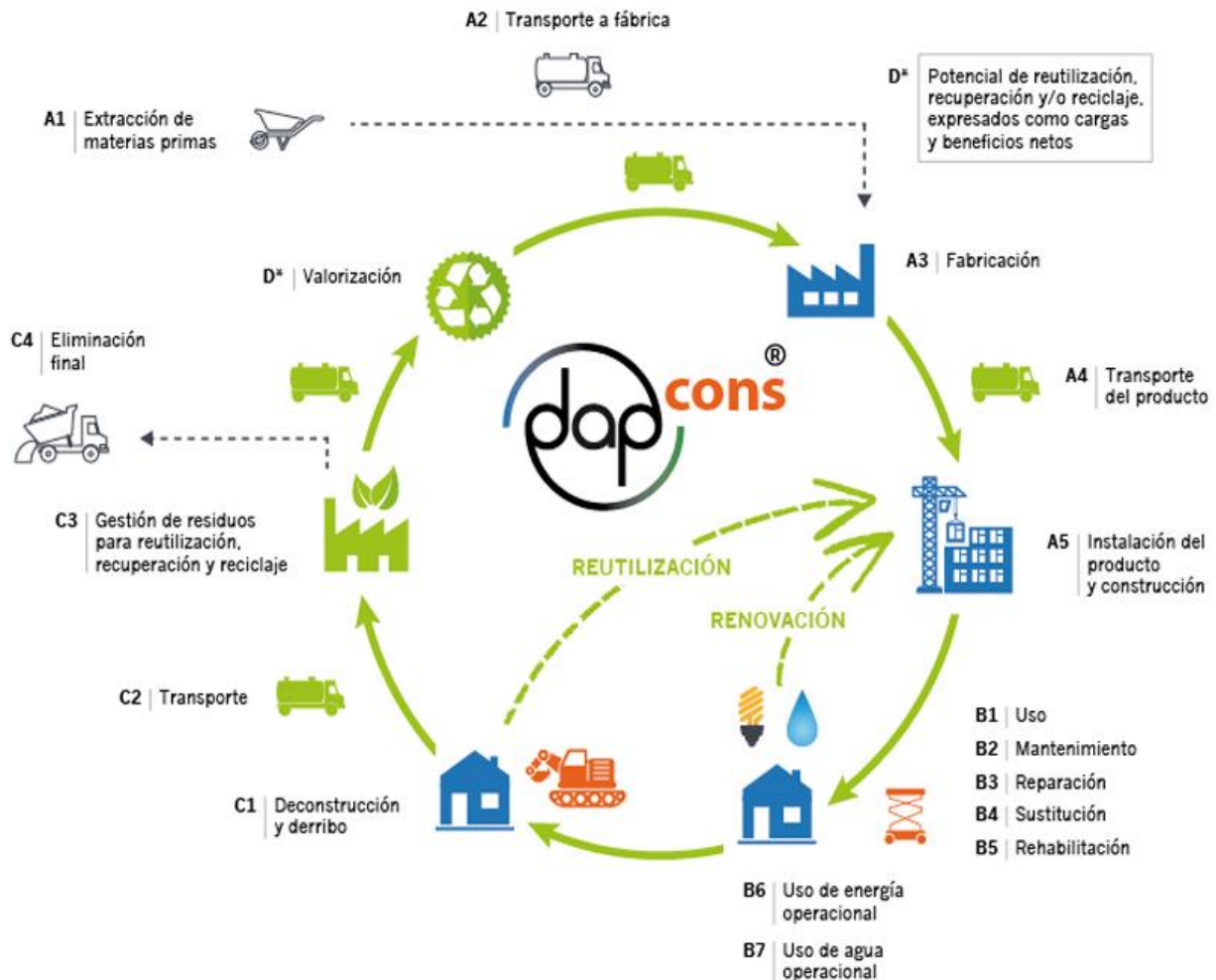


Figura 5.2 Esquema de etapas incluidas en una DAP. Imagen de construible.es

5.2. TABLA COMPARATIVA

Tabla 7 Tabla comparativa. Elaboración propia

		CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS											CARACTERÍSTICAS AMBIENTALES			
		Conductividad térmica λ (W/mK)	Espesor comercial (mm) ($Rz1$ m ² K/W)	Densidad p (kg/m ³)	Higroscopicidad (% de su peso)	Resistencia a la difusión vapor μ	Difusión de vapor de agua Sd	Calor específico Cp (J/kgK)	Difusividad térmica α (m ² /s)	Resistencia a hongos e insectos	Resistencia al fuego	Precio (€/m ²) ($Rz1$ m ² K/W)	Energía (MJ/kg)	Emisiones (kgCO ₂ /kg)	Reciclable	Biodegradable
Corcho	Panel rígido	0.037	40	100	7	7-14	4.20	1670	2.22E-07	Si	E	14.82	7.54	-1.72	Si	Si
	Granulado	0.040	40	65	7	7-14	4.20	1670	3.68E-07	Si	E	10.55	6.75	-1.70	Si*	Si
Cáñamo	Manto	0.041	50	30	17	1	0.50	2300	5.94E-07	Si	F	7.10	-	-0.62	Si	Si
Lana de oveja	Manto	0.043	50	14	33	1	0.50	1700	1.81E-06	Si	F	7.50	18.92	1.55	Si	Si
	Placa	0.035	40	35	33	1	0.40	1700	5.88E-07	Si	F	10.29	16.64	1.45	Si	Si
Algodón	Granel	0.041	50	20	33	1	0.50	1700	1.21E-06	Si	B-s3d0	4.60	10.96	0.71	Si*	Si
	Manto	0.036	50	25	24	1	0.50	1100	1.31E-06	Si	F	6.00	9.69	0.70	Si	Si
	Placa	0.034	40	60	24	1	0.40	1100	5.15E-07	Si	F	9.00	9.69	0.70	Si	Si
Celulosa	Granel	0.042	50	20	24	1	0.50	1100	1.91E-06	Si	B-s2d0	2.20	7.46	0.46	Si*	Si
	Granel	0.038	40	40-60	30	1-2	0.60	2100	3.62E-07	Si	B-s1d0	2.12	5.55	-0.65	Si*	Si
Fibra de madera	Panel flexible	0.036	40	50	20	2	0.80	2100	3.43E-07	Si	E	4.62	19.59	0.20	Si	Si
	Panel rígido	0.038	40	110	20-	4	1.60	2100	1.65E-07	Si	E	8.00	20.40	0.23	Si	Si
Poliestireno extruido	Granel	0.038	40	40	20-	2	0.80	2100	4.52E-07	Si	E	2.06	11.15	-0.34	Si*	Si
	Panel rígido	0.034	40	32	No	150	60	1450	7.33E-07	Si	E	12.66	57.47	2.65	Si	No
Lana de vidrio	Panel	0.032	40	35	No	1	0.40	800	1.14E-06	Si	F	7.45	44.81	2.95	Si*	No
Lana mineral	Panel rígido	0.034	40	70	No	1	0.40	800	6.07E-07	Si	A1	7.00	18.15	1.26	Si	No
	Insuflado	0.037	40	70	No	1	0.40	800	6.07E-07	Si	A1	6.47	20.30	1.03	Si*	No

6. CONCLUSIONES

En este apartado, se expondrán las conclusiones extraídas del análisis y comparación de los diferentes aislantes térmicos desarrollados. Se realizará una comparación mediante sus características térmicas, técnicas y ambientales, tanto de los materiales analizados como de los incluidos en la tabla a modo de muestra de los materiales utilizados habitualmente.

Para llevar a cabo correctamente la comparativa y hacerlo de forma equitativa, esta se dividirá en dos partes: aislantes térmicos a granel y aislantes térmicos en placa, manto o panel. Esta división responde a que los aislantes en forma a granel se utilizarán para ser insuflados dentro de una cámara de aire, por lo que la solución constructiva resultante de su aplicación es ligeramente diferente a la adoptada en los formatos de placas, paneles y mantos.

6.1. FORMATO A GRANEL

Después de exponer y comparar diversas características de los materiales aislantes térmicos a granel, se extrae que el aislamiento de corcho granulado, el de fibra de madera y el de celulosa presentan los mejores resultados en su cómputo global.

Así, el corcho granulado insuflado destaca principalmente en los factores ambientales, con una energía empleada en todo su ciclo de vida de 6.75MJ/kg y un nivel de emisiones de CO₂ de -1.70kgCO₂, lo que implica que fija más CO₂ que el que produce a lo largo de toda su vida útil. Además es reciclable y biodegradable. La principal desventaja de este aislante es su precio, el más elevado de todos los materiales analizados.

El aislante térmico de fibra de madera presenta una mejor conductividad térmica que el corcho granulado, siendo esta de 0.038 W/mK. En el aspecto ambiental el valor más reseñable sería su nivel de emisión de CO₂, negativo (-0.34 kgCO₂) como en el caso del aislante térmico de corcho. La última característica por mencionar de este material corresponde a su precio, es el más bajo de todos, 2.06€/m²; pero sin mucha diferencia con precio del aislante de celulosa.

En cuanto al aislante de celulosa, son sobresaliente muchas de sus características. La conductividad térmica (0.038W/mK) es una de la más bajas de los materiales analizados. Tiene un buen comportamiento higroscópico (30%) y a su vez un comportamiento óptimo de difusividad térmica. La resistencia al fuego es tipo B, combustible de contribución limitada al fuego. En el aspecto económico es uno de los aislamientos que menor precio presentan (2.12€/m²) solo mejorado por el aislante de fibra de madera. Como características ambientales se pueden destacar su bajo consumo de energía a lo largo de su vida útil, su bajo nivel de emisiones de CO₂ (-0.65 kgCO₂), fija CO₂; y que se presenta como un material reciclable y biodegradable.

Una vez expuestos los materiales aislantes térmicos a granel con las mejores características, se puede afirmar que de esta tipología la mejor opción es el aislante a granel de celulosa. Ofrece buenas o muy buenas características, con unos valores ambientales muy buenos, y además un precio muy competitivo. Así se tiene, un material con buenas calidades térmicas, técnicas y ambientales. El aislante a granel de celulosa es pues el que destaca de entre todos los demás, como se ha visto anteriormente, siendo también un material reciclable, sostenible y biodegradable.

6.2. FORMATO PLACA, PANEL Y MANTO

Puestas en común todas las características de los materiales aislantes térmicos en formato de placa, panel y manto; se puede llegar a la conclusión de que los aislantes térmicos que ofrecen unas mejores propiedades son la placa y el manto de algodón, el panel rígido de corcho, el panel flexible de fibra de madera y el panel de lana mineral. Cada uno de ellos destacará en mayor o menor medida en diferentes aspectos.

El panel flexible de madera destaca por su bajo precio respecto a los demás materiales, ofrece el valor más bajo (4.62€/m²); y su reducido nivel de emisiones de CO₂ (0.20kgCO₂). También se puede resaltar su conductividad térmica (0.036W/mK), siendo unos de los mejores valores. En el apartado ambiental, se puede decir que es un material sostenible, reciclable y biodegradable.

El aislamiento de corcho en forma de panel rígido posee un buen valor de difusividad térmica por lo que es adecuado para climas con una gran amplitud térmica. Su conductividad térmica no es destacable (0.037W/mK), mientras que sus valores ambientales son excelentes. Con un aporte de energía en su ciclo de vida de 7.54MJ/kg, un nivel de emisiones de -1.72 KgCO₂ y siendo un material reciclable y biodegradable; el corcho, se postula como el más ecológico de los materiales analizados, fijando más CO₂ del que se produce en su fabricación.

En cuanto al manto y placa de algodón, ambos tienen propiedades similares. El formato de manto destaca por su precio, el más bajo de todos los materiales de este tipo (6 €/m²). En la conductividad térmica posee un mejor valor el formato de placa (0.034 W/mK), mientras que higroscópicamente ambos tienen el mismo comportamiento con un valor del 24%, uno de los más elevados de los materiales analizados. Su difusión al vapor de agua es óptima, al contrario que su comportamiento frente al fuego, clase F, la más baja. Ambientalmente, la energía empleada en su ciclo de vida es de las más reducidas (9.69 MJ/kg) y su nivel de emisiones de CO₂ también tiene un valor contenido (0.7kgCO₂). Se trata de un material reciclable y por su origen vegetal, biodegradable.

Aunque no son la mejor opción, los materiales convencionales son los que mejor conductividad térmica poseen, sobre todo el panel de lana de vidrio (0.032W/mK). En referencia al precio, que se suponía como una de sus ventajas, queda al mismo nivel que la mayoría de los aislantes térmicos sostenibles. En el apartado ambiental, a excepción del panel de lana mineral, requieren un gran consumo de energía y sus niveles de emisiones son los más elevados. Además son materiales no biodegradables.

Realizada la exposición de los materiales aislantes térmicos con mejor comportamiento, se puede decir que cada uno de ellos destaca en un área diferente. El panel flexible de madera en precio y en menor medida, en el nivel de emisiones. El corcho en las cualidades ambientales, inalcanzables para los demás materiales; y el aislamiento térmico de algodón, en los buenos niveles ambientales, precios relativamente bajos y una conductividad térmica aceptable, especialmente en su formato de placa. Es por estos motivos por los que se puede considerar al aislamiento térmico de algodón el más equilibrado de todos los analizados. Se presenta como un material con un buen comportamiento como aislante térmico, generador de confort y con unas características ambientales que lo hacen reciclable, ecológico y sostenible.

7. BIBLIOGRAFÍA

7.1. REFERENCIAS

- Baño Nieva, A., & Vigil-Escalera del Pozo, A. (Noviembre de 2005). *Instituto Sindical de Trabajo, Ambiente y Salud*. (A. y. Instituto Sindical de Trabajo, Ed.) Recuperado el 10 de agosto de 2019, de <http://istas.net/descargas/CCConsSost.pdf>
- Caballero, M. (12 de Agosto de 2019). *Miren Caballero bioestudio*. Obtenido de <https://www.mirencaballerobioestudio.com/materiales-naturales-higroscopicidad-y-difusion-de-vapor/>
- Icaro, C. T. (2005). *Hacia una arquitectura sostenible: en busca de un sentido común*. Valencia: Icaro, Colegio Territorial de Arquitectos de Valencia.
- Letón, S. L. (13 de octubre de 2018). El cannabis le planta cara al ladrillo. *El País*. Obtenido de https://elpais.com/economia/2018/10/11/actualidad/1539248215_081925.html
- Redacción EFEverde. (15 de abril de 2017). Desarrollan un nuevo aislante acústico y térmico a partir de lana de oveja. *EFE VERDE*. Obtenido de <https://www.efeverde.com/noticias/aislante-lana-oveja/>

7.2. REFERENCIAS TABLA COMPARATIVA

Tabla 8 Tabla de referencias. Elaboración propia

		CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS										CARACTERÍSTICAS AMBIENTALES			
		Conductividad térmica λ (W/mk)	Espesor Comercial (mm)	$(R_{z1} m^2K/W)$	Densidad ρ (kg/m ³)	Higroscopicidad (% de su peso)	Resistencia a la difusión vapor μ	Calor específico C_p (J/kgk)	Resistencia a hongos e insectos	Resistencia al fuego	Precio (€/m ²) $(R_{z1} m^2K/W)$	Energía (MJ/kg)	Emissiones (kgCO ₂ /kg)	Reciclable	Biodegradable
Corcho	Panel rígido	BARNA CORK ¹	BARNA CORK ¹	BARNA CORK ¹	BARNA CORK ¹	MIREN ² CABALLERO BIOESTUDIO	SOCYR ³	BARNA CORK ¹	BARNA CORK ¹	BARNA CORK ¹	BARNA CORK ⁴	AMORIN ⁵	AMORIN ⁵	BARNA CORK ¹	BARNA CORK ¹
	Granel	BARNA CORK ⁶	BARNA CORK ⁶	BARNA CORK ⁶	BARNA CORK ⁶	MIREN ² CABALLERO BIOESTUDIO	SOCYR ³	BARNA CORK ⁶	BARNA CORK ⁶	BARNA CORK ⁶	BARNA CORK ⁴	AMORIN ⁵	AMORIN ⁵	BARNA CORK ⁶	BARNA CORK ⁶
Cáñamo	Manto	RMT-NITA ⁷	RMT-NITA ⁷	RMT-NITA ⁷	RMT-NITA ⁷	RMT-NITA ⁷	RMT-NITA ⁷	THERMO NATUR ⁸	RMT-NITA ⁷	RMT-NITA ⁴	RMT-NITA ⁴	-	CANINA BRIC ⁹	RMT-NITA ⁷	RMT-NITA ⁷
Lana de oveja	Manto	RMT-NITA ¹⁰	RMT-NITA ¹⁰	RMT-NITA ¹⁰	RMT-NITA ¹⁰	RMT-NITA ¹⁰	RMT-NITA ¹⁰	BLACK MOUNTAIN ¹¹	RMT-NITA ¹⁰	RMT-NITA ¹⁰	TIENDABIO CONSTRUCCIÓN ¹²	RMT-NITA ¹⁰	RMT-NITA ¹⁰	RMT-NITA ¹⁰	RMT-NITA ¹⁰
	Placa	RMT-NITA ¹⁰	RMT-NITA ¹⁰	RMT-NITA ¹⁰	RMT-NITA ¹⁰	RMT-NITA ¹⁰	RMT-NITA ¹⁰	BLACK MOUNTAIN ¹¹	RMT-NITA ¹⁰	RMT-NITA ¹⁰	TIENDABIO CONSTRUCCIÓN ¹³	RMT-NITA ¹⁰	RMT-NITA ¹⁰	RMT-NITA ¹⁰	RMT-NITA ¹⁰
Granel		RMT-NITA ¹⁴	RMT-NITA ¹⁴	RMT-NITA ¹⁴	RMT-NITA ¹⁴	RMT-NITA ¹⁴	RMT-NITA ¹⁴	BLACK MOUNTAIN ¹¹	RMT-NITA ¹⁴	RMT-NITA ¹⁴	TIENDABIO CONSTRUCCIÓN ¹⁵	RMT-NITA ¹⁴	RMT-NITA ¹⁴	RMT-NITA ¹⁴	RMT-NITA ¹⁴
	Manto	RMT-NITA ¹⁶	RMT-NITA ¹⁶	RMT-NITA ¹⁶	RMT-NITA ¹⁶	RMT-NITA ¹⁶	RMT-NITA ¹⁶	AISLA Y AHORRA ¹⁷	RMT-NITA ¹⁶	RMT-NITA ¹⁶	RMT-NITA ¹⁶	RMT-NITA ¹⁶	RMT-NITA ¹⁶	RMT-NITA ¹⁶	RMT-NITA ¹⁶
Placa		RMT-NITA ¹⁶	RMT-NITA ¹⁶	RMT-NITA ¹⁶	RMT-NITA ¹⁶	RMT-NITA ¹⁶	RMT-NITA ¹⁶	AISLA Y AHORRA ¹⁷	RMT-NITA ¹⁶	RMT-NITA ¹⁶	RMT-NITA ¹⁶	RMT-NITA ¹⁶	RMT-NITA ¹⁶	RMT-NITA ¹⁶	RMT-NITA ¹⁶
	Granel	RMT-NITA ¹⁸	RMT-NITA ¹⁸	RMT-NITA ¹⁸	RMT-NITA ¹⁸	RMT-NITA ¹⁸	RMT-NITA ¹⁸	AISLA Y AHORRA ¹⁷	RMT-NITA ¹⁸	RMT-NITA ¹⁸	RMT-NITA ¹⁸	RMT-NITA ¹⁸	RMT-NITA ¹⁸	RMT-NITA ¹⁸	RMT-NITA ¹⁸
Celulosa	Granel	STEICO ¹⁹	STEICO ¹⁹	STEICO ¹⁹	STEICO ¹⁹	LOGROTEX ²⁰	STEICO ¹⁹	STEICO ¹⁹	RMT-NITA ²¹	STEICO ¹⁹	STEICO ²²	THERMO FLOC ²³	STEICO ¹⁹	STEICO ¹⁹	STEICO ¹⁹
	Panel flexible	GUTEX ²⁴	GUTEX ²⁴	GUTEX ²⁴	GUTEX ²⁴	GUTEX ²⁴	GUTEX ²⁴	GUTEX ²⁴	GUTEX ²⁴	GUTEX ²⁴	STEICO ²⁵	STEICO ²⁶	GUTEX ²⁴	GUTEX ²⁴	GUTEX ²⁴
	Panel rígido	GUTEX ²⁷	GUTEX ²⁷	GUTEX ²⁷	GUTEX ²⁷	GUTEX ²⁷	GUTEX ²⁷	GUTEX ²⁷	GUTEX ²⁷	GUTEX ²⁷	STEICO ²⁵	IBU ²⁸	GUTEX ²⁷	GUTEX ²⁷	GUTEX ²⁷
	Granel	STEICO ²⁹	STEICO ²⁹	STEICO ²⁹	STEICO ²⁹	STEICO ²⁹	STEICO ²⁹	STEICO ²⁹	STEICO ²⁹	STEICO ²⁹	STEICO ²⁵	IBU ²⁸	STEICO ²⁹	STEICO ²⁹	STEICO ²⁹
Poliestireno extruido	Panel rígido	DANOSA ³⁰	DANOSA ³⁰	DANOSA ³⁰	DANOSA ³⁰	DANOSA ³⁰	DANOSA ³⁰	DANOSA ³⁰	DANOSA ³⁰	DANOSA ³⁰	DANOSA ³⁰	DANOSA ³⁰	DANOSA ³⁰	DANOSA	
Lana de vidrio	Panel	ISOVER ³¹	ISOVER ³¹	ISOVER ³¹	ISOVER ³¹	ISOVER ³¹	ISOVER ³¹	ISOVER ³¹	ISOVER ³¹	ISOVER ³¹	ISOVER ³¹	ISOVER ³¹	ISOVER ³¹	ISOVER ³¹	
Lana mineral	Panel rígido	ISOVER ³²	ISOVER ³²	ISOVER ³²	ISOVER ³²	ISOVER ³²	ISOVER ³²	ISOVER ³²	ISOVER ³²	ISOVER ³²	ISOVER ³²	ISOVER ³²	ISOVER ³²	ISOVER ³²	
	Insuflado	ROCK WOOL ³³	ROCK WOOL ³³	ROCK WOOL ³³	ROCK WOOL ³³	ROCK WOOL ³³	ROCK WOOL ³³	ROCK WOOL ³³	ROCK WOOL ³³	ROCK WOOL ³⁴	ROCK WOOL ³⁴	ROCK WOOL ³⁵	ROCK WOOL ³⁵	ROCK WOOL ³⁴	

REFERENCIAS DE TABLA REFERENCIAS

- ¹ <http://www.barnacork.com/11Boris/fileWeb/FICHAS.TECNICAS/AGLOCORK.TERMICO.pdf>
- ² <https://www.mirencaballerobioestudio.com/aislamientos-naturales-para-construccion/>
- ³ <https://www.socyr.com/wp-content/uploads/socyr.com/FICHA-TECNICA-CORCHO-NEGRO-1.pdf>
- ⁴ Catálogo de precios de la empresa.
- ⁵ <https://www.amorimcork.com/es/corcho-natural/sostenibilidad-y-papel-del-alcornocal/>
- ⁶ <http://www.barnacork.com/11Boris/fileWeb/FICHAS.TECNICAS/AGLOCORK.GRANULADO.pdf>
- ⁷ <http://rmt-nita.es/downloads/Fitxa%20tecnic%20NITA%20HEMP-CAST.pdf>
- ⁸ <https://www.thermo-natur.de/daemmstoffe/thermo-hanf/thermo-hanf-premium/>
- ⁹ http://www.cannabric.com/media/documentos/1c5e2_CANNABRIC_ficha_tecnica_y_ensayos.pdf
- ¹⁰ <http://rmt-nita.es/downloads/Ficha%20tecnic%20NITA%20MANTELL%20WOOL%20CAST.pdf>
- ¹¹ https://www.blackmountaininsulation.com/NatuWool_Technical_Sheet.pdf
- ¹² https://www.tiendabioconstruccion.com/aislamientos/39-aislamiento-de-lana-de-oveja.html#/123-formato-manto_50_mm_m2
- ¹³ https://www.tiendabioconstruccion.com/aislamientos/39-aislamiento-de-lana-de-oveja.html#/124-formato-placa_50_mm_m2
- ¹⁴ <http://rmt-nita.es/downloads/Ficha%20tecnic%20NITA%20WOOL%20CAST.pdf>
- ¹⁵ https://www.tiendabioconstruccion.com/aislamientos/39-aislamiento-de-lana-de-oveja.html#/125-formato-granel_bala_12_5_kg
- ¹⁶ <http://rmt-nita.es/downloads/Ficha%20tecnic%20NITA%20COTTON%20MANTELL%20CAST.pdf>
- ¹⁷ <https://aislayahorra.blogspot.com/2011/08/aislamientos-ecologicos-termicos-y.html>
- ¹⁸ <http://rmt-nita.es/downloads/Ficha%20tecnic%20NITA%20COTTON%20CAST.pdf>
- ¹⁹ https://www.steico.com/fileadmin/steico/content/pdf/Marketing/Spanish/Datenblaetter/STEICOfloc_es_i.pdf
- ²⁰ <http://www.logrotex.com/files/linea-negocio/ficha-tecnica/FT-ISOLGREEN-CELULOSA.pdf>
- ²¹ <http://rmt-nita.es/downloads/Ficha%20tecnic%20NITA%20CELL%20CAST.pdf>
- ²² https://www.steico.com/fileadmin/steico/content/pdf/Marketing/Spanish/Preisliste/STEICO_tarifa_a_partir_0919.pdf
- ²³ <https://www.thermofloc.com/de/downloads?path=/Qualitaetszertifikate>
- ²⁴ https://gutex.es/fileadmin/uploads/Downloads/Technische_Merkblaetter/GUTEX_ES_TM_Thermoflex_2019-03.pdf
- ²⁵ https://www.steico.com/fileadmin/steico/content/pdf/Marketing/Spanish/Preisliste/STEICO_tarifa_a_partir_0919.pdf
- ²⁶ https://www.steico.com/fileadmin/steico/content/pdf/Certificates_-_Documents/English__multiple_markets_/STEICO_EPD-STE-20150327-IBD1-EN.pdf
- ²⁷ <https://gutex.es/gama-de-productos/productos/producto/prod/gutex-thermosafe-homogen/>
- ²⁸ <https://ibu-epd.com/veroeffentlichte-epds/>
- ²⁹ https://www.steico.com/fileadmin/steico/content/pdf/Marketing/Spanish/Datenblaetter/STEICOzell_es_i.pdf
- ³⁰ <https://portal.danosa.com/danosa/CMServlet?node=482003&lng=1&site=1>
- ³¹ <https://www.isover.es/productos/eco-032>
- ³² <https://www.isover.es/productos/acustilaine-70>
- ³³ https://cdn01.rockwool.es/siteassets/rw-es/herramientas/fichas-tecnicas/fieltros-y-borras/ft_rockin-s_es.pdf?f=20181120025334
- ³⁴ https://cdn01.rockwool.es/siteassets/rw-es/herramientas/biblioteca-de-documentos/tarifas/tarifa-rockwool_2019_es.pdf?f=20190522091449
- ³⁵ <https://cdn01.rockwool.es/siteassets/rw-es/herramientas/certificados/dap-declaracion-ambiental-de-producto/dap-selm-es.pdf?f=20190128093457>

7.3. ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 3.1** Esquema Arquitectura sostenible. Imagen modificada de RevistaConstrucción
- Figura 3.2** Disminución de Impacto ambiental, consumo de energía y CO₂ según la implementación de los diferentes factores de la construcción sostenible. Imagen modificada de (Icaro, 2005)
- Figura 4.1** Extracción del corcho, “saca del corcho”. Imagen de IAPH
- Figura 4.2** Corcho natural expandido. Imagen propia
- Figura 4.3** Corcho natural más conglomerante. Imagen de EcoHabitar
- Figura 4.4** Corcho natural más conglomerante en formato de rollo. Imagen BARNACORK
- Figura 4.5** Corcho natural triturado. Imagen de EcoHabitar
- Figura 4.6** Células del corcho a través del microscopio. Imagen de ICSURO.com
- Figura 4.7** Ciclo de vida del aislante térmico de cáñamo. Imagen de THERMONATUR. Traducida
- Figura 4.8** Aislante térmico de cáñamo manta Imagen propia
- Figura 4.9** Fieltro de cáñamo en rollo. Imagen de Cannabric
- Figura 4.10** Cañamiza. Imagen de Cannabric
- Figura 4.11** Bloque de cáñamo. Imagen Cannabric
- Figura 4.12** Lana de cáñamo. Imagen de Cannabric
- Figura 4.13** Pellets de cáñamo. Imagen Cannabric
- Figura 4.14** Esquila de la oveja. Imagen de quesodeoveja.org
- Figura 4.15** Aislamiento térmico de lana de oveja formato manto. Imagen propia
- Figura 4.16** Fieltro punzonado de lana de oveja. Imagen de RMT-NITA
- Figura 4.17** Lana de oveja a granel. Imagen propia
- Figura 4.18** Ciclo de vida del aislante térmico de lana de oveja. Imagen de RMT-NITA
- Figura 4.19** Materias primas del aislante térmico de algodón. Imagen propia collage
- Figura 4.20** Aislante térmico de algodón placa. Imagen propia
- Figura 4.21** Aislante térmico de algodón a granel. Imagen propia
- Figura 4.22** Ciclo de vida del aislante térmico de algodón. Imagen de RMT-NITA
- Figura 4.23** Materia prima y resultado del triturado. Imagen de Biohaus
- Figura 4.24** Aislante de celulosa a granel. Imagen de ecogreenhome.es
- Figura 4.25** Momento de insuflado de aislante de celulosa Imagen de ecospai.com
- Figura 4.26** Recreación de insuflado de celulosa Imagen de ecogreenhome.es
- Figura 4.27** Proceso de fabricación húmedo. Imagen de GUTEX
- Figura 4.28** Proceso de fabricación en seco. Imagen de GUTEX
- Figura 4.29** Aislante térmico fibra de madera a granel. Imagen GUTEX
- Figura 4.30** Aislante térmico fibra de madera panel flexible. Imagen de GUTEX
- Figura 4.31** Aislante térmico fibra de madera panel rígido. Imagen GUTEX
- Figura 5.1** Efecto de la difusividad térmica de un material aislante térmico. Imagen de GUTEX
- Figura 5.2** Esquema de etapas incluidas en una DAP. Imagen de construible.es

7.4. ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Tabla resumen características aislamiento térmico de corcho. Elaboración propia.....	17
Tabla 2	Tabla resumen características aislamiento térmico de cáñamo. Elaboración propia.....	24
Tabla 3	Tabla resumen de las características del aislante térmico de lana de oveja. Elaboración propia.....	31
Tabla 4	Tabla resumen de las características del aislante térmico de algodón. Elaboración propia.....	37
Tabla 5	Tabla resumen aislamiento térmico de celulosa. Elaboración propia.....	43
Tabla 6	Tabla resumen características de aislamiento térmico de fibra de madera. Elaboración propia.....	51
Tabla 7	Tabla comparativa. Elaboración propia.....	55
Tabla 8	Tabla de referencias. Elaboración propia.....	60

7.5. REFERENCIAS WEB

AISLANTE TÉRMICO DE CORCHO

- ¹ <http://www.barnacork.com/el-corcho/ique-es-el-corcho.html>
- ² <http://barnacork.com/aislamientos/aislamientos-acusticos-del-corcho/aislamientos/aislamientos-ac%C3%BAsticos/aglocork-ac%C3%BAstico-natural.html>
- ³ <http://www.bioklimanature.com/catalogo-productos-corcho/>
- ⁴ <https://www.amorimisolamentos.com/o-processo/processo-produtivo/>
- ⁵ <http://barnacork.com/aislamientos/rollos-de-corcho/rollos-de-corcho-170.html>
- ⁶ <http://www.barnacork.com/aislamientos/aislamientos-termicos-de-corcho1/sistemas-constructivos.html?limit=10>
- ⁷ http://www.ecohabitar.org/wp-content/uploads/2011/12/ficha_corcho1.pdf
- ⁸ <https://www.socyr.com/alquiler-de-maquina-corcho/>
- ⁹ <http://barnacork.com/11Boris/fileWeb/catalogo-aislamientos-2012.pdf>
- ¹⁰ <http://www.barnacork.com/aislamientos.html>
- ¹¹ Información proporcionada directamente por la empresa BARNACORK
- ¹² <https://www.icsuro.com/es/propiedades-corcho/>

AISLANTE TÉRMICO DE CÁÑAMO

- ¹³ <https://sensiseeds.com/es/blog/canamo-industrial-agricultura-ecologica-en-espana-parte-i/>
- ¹⁴ <https://sensiseeds.com/es/blog/canamo-industrial-agricultura-ecologica-en-espana-parte-ii/>
- ¹⁵ https://elpais.com/economia/2018/10/11/actualidad/1539248215_081925.html
- ¹⁶ <http://artchist.blogspot.com/2015/09/tipos-de-aislantes-lana-de-canamo.html>
- ¹⁷ <http://www.ecohabitar.org/construccion-con-canamo/>
- ¹⁸ <http://rmt-nita.es/downloads/Fitxa%20tecnica%20NITA%20HEMP-CAST.pdf>
- ¹⁹ <http://www.callosadesegura.es/museo-del-canamo/>
- ²⁰ http://www.ecohabitar.org/wp-content/uploads/2011/12/ficha_canamo.pdf
- ²¹ <http://artchist.blogspot.com/2015/09/tipos-de-aislantes-lana-de-canamo.html>
- ²² <http://www.mimbrea.com/aislanientos-naturales-i-productos-industriales-de-canamo/>
- ²³ <http://www.cannabric.com/catalogo/>
- ²⁴ <https://madridarquitectura.com/38-los-aislantes-ecologicos-ii-de-origen-vegetal/>
- ²⁵ http://www.cannabric.com/media/documentos/a0f05_AISLANAT_ficha_tecnica.pdf
- ²⁶ <https://www.thermo-natur.de/wp-content/uploads/TN-CHANVRE-FRA-2016-web.pdf>
- ²⁷ http://www.cannabric.com/media/documentos/1c5e2_CANNABRIC_ficha_tecnica_y_ensayos.pdf
- ²⁸ <https://www.blackmountaininsulation.com/products/natuhemp>

AISLANTE TÉRMICO DE LANA DE OVEJA

- ²⁹ <http://rmt-nita.es/esp/wool.php>
- ³⁰ <http://artchist.blogspot.com/2015/09/tipos-de-aislamiento-lana-de-oveja.html>
- ³¹ http://www.ecohabitar.org/wp-content/uploads/2011/12/ficha_lana1.pdf
- ³² <http://rmt-nita.es/esp/wool-puesta-en-obra.php>
- ³³ <http://www.ecohabitar.org/aislamientos-e-impermeabilizacion-convenientes/>
- ³⁴ http://rmt-nita.es/downloads/wool_manto_triptyc_esp_web.pdf
- ³⁵ <http://rmt-nita.es/esp/wool-datos-tecnicos.php>
- ³⁶ <http://rmt-nita.es/esp/wool-ventajas-ambientales.php>
- ³⁷ <http://rmt-nita.es/downloads/Ficha%20tecnica%20NITA%20MANTELL%20WOOL%20CAST.pdf>
- ³⁸ <http://rmt-nita.es/downloads/Ficha%20tecnica%20NITA%20FELTRE%20P%20WOOL%20CAST.pdf>
- ³⁹ <http://rmt-nita.es/downloads/Ficha%20tecnica%20NITA%20FELTRE%20T%20WOOL%20CAST.pdf>
- ⁴⁰ http://rmt-nita.es/downloads/wool_floc_triptyc_esp_web.pdf
- ⁴¹ <http://rmt-nita.es/downloads/Ficha%20tecnica%20NITA%20WOOL%20CAST.pdf>
- ⁴² Artículo del Diario El 9 Nou: http://rmt-nita.es/downloads/20080526_diari_el_nou.pdf

AISLANTE TÉRMICO DE ALGODÓN

- 43 <http://rmt-nita.es/esp/cotton.php>
- 44 http://www.ecohabitar.org/wp-content/uploads/2011/12/ficha_algodon.pdf
- 45 http://rmt-nita.es/downloads/cotton_triptyc_manto_esp_web.pdf
- 46 <http://www.ecohabitar.org/aislamientos-e-impermeabilizacion-convenientes/>
- 47 <http://rmt-nita.es/esp/cotton-puesta-en-obra.php>
- 48 <http://rmt-nita.es/downloads/Ficha%20tecnica%20NITA%20COTTON%20MANTELL%20CAST.pdf>
- 49 <http://rmt-nita.es/esp/cotton-ventajas-ambientales.php>
- 50 <http://rmt-nita.es/downloads/Ficha%20tecnica%20NITA%20COTTON%20CAST.pdf>
- 51 http://rmt-nita.es/downloads/wool_floc_triptyc_esp_web.pdf
- 52 <http://rmt-nita.es/esp/cotton-datos-tecnicos.php>

AISLANTE TÉRMICO DE CELULOSA

- 53 <http://www.aislantesaislanat.es/>
- 54 <http://rmt-nita.es/esp/cell.php>
- 55 <http://www.logrotex.com/files/linea-negocio/ficha-tecnica/FT-ISOLGREEN-CELULOSA.pdf>
- 56 <http://www.aislantesaislanat.es/wp-content/uploads/2018/04/EspecificacionesCelulosaAislaNat2018.pdf>
- 57 <http://www.aislantesaislanat.es/fabricacion-y-aplicacion/#aplicacion>
- 58 <http://www.mimbrea.com/aislamientos-naturales-ii-la-celulosa/>
- 59 <http://rmt-nita.es/downloads/Ficha%20tecnica%20NITA%20CELL%20CAST.pdf>
- 60 <http://www.aislantesaislanat.es/ficha-tecnica/>

AISLANTE TÉRMICO DE FIBRA DE MADERA

- 61 <http://gutex.es/es/vivir-gutex/>
- 62 <http://artchist.blogspot.com/2017/03/tipos-de-aislantes-fibra-de-madera.html>
- 63 http://www.ecohabitar.org/wp-content/uploads/2011/12/ficha_tabl_fibra_madera.pdf
- 64 <http://www.ecohabitar.org/aislamientos-e-impermeabilizacion-convenientes/>
- 65 <https://www.steico.com>
- 66 <https://gutex.es/gama-de-productos/productos/producto/prod/gutex-thermosafe-homogen/>
- 67 <http://altermat.es/aislamiento-con-fibra-de-madera-bienestar-y-confort>
- 68 https://gutex.es/fileadmin/uploads/Downloads/GUTEX_ES_BR_Thermofibre_2012-06.pdf
- 69 https://www.steico.com/fileadmin/steico/content/pdf/Marketing/Spanish/Datenblaetter/STEICOzell_es_i.pdf
- 70 <https://www.steico.com/es/productos/resumen/>
- 71 <https://gutex.es/gama-de-productos/productos/>
- 72 <https://gutex.es/sortiment/produkteigenschaften/sommerlicher-hitzeschutz/>
- 73 <https://gutex.es/sortiment/produkteigenschaften/angenehmes-wohnlklima/>
- 74 <https://pedrojhernandez.com/2014/04/09/caracteristicas-termicas-de-los-materiales/>