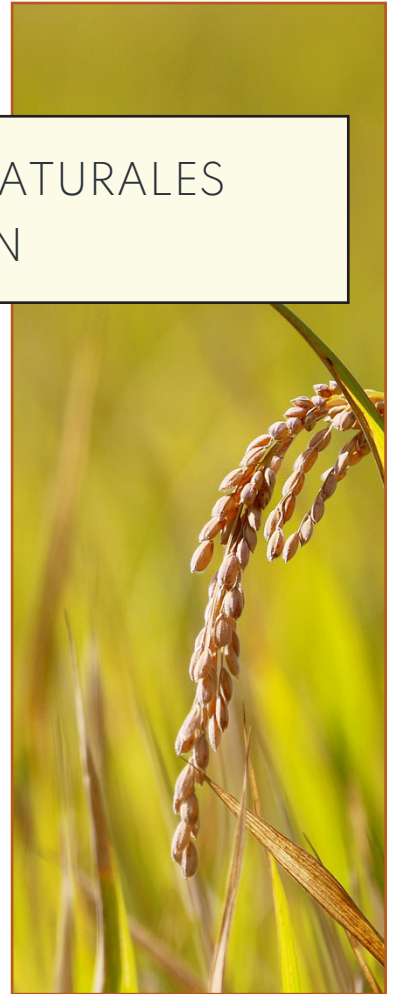




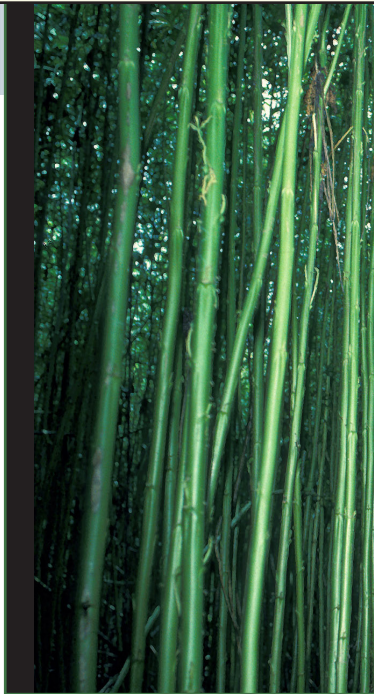
CENTRO DE INVESTIGACIONES
CIENTÍFICAS Y TECNOLÓGICAS
DE EXTREMADURA



Proyecto cofinanciado con la
Contribución del Programa LIFE
de la Unión Europea
Project co-funded with the
contribution of the LIFE Programme
of the European Union



MANUAL DE MATERIALES NATURALES EN CONSTRUCCIÓN



Manual de materiales naturales para su aplicación en construcción,
fomentando el uso sostenible de los recursos existentes y
favoreciendo la protección del medio ambiente.



*Dedicado a todas las personas que se implican y
esfuerzan en hacer realidad aquello en lo que creen*



MANUAL DE MATERIALES NATURALES EN CONSTRUCCIÓN

LIFE ReNaturalNZEB

Manual de materiales naturales en construcción

Autores:

Manuel Acevedo Serrano
Santiago Cuéllar Borrego
Raquel García Mateos
José Alberto Sandía Manchado

Colaboradores:

Ana María Fernández Santos
Álvaro Rodríguez Martín
Ramón Santiago Beltrán
María José Trinidad Lozano

Edita:

CICYTEX Centro de Investigaciones Científicas y
Tecnológicas de Extremadura
C/ Pamplona 64, 06800 Mérida, Badajoz

Mérida, diciembre 2021

ISBN: 978-84-125069-2-1

Depósito Legal: BA-000067-2022



Bienvenidos

El manual que está contemplando recoge una importante labor científica y documental realizada por personas convencidas profundamente de que es posible mirarnos a nosotros mismos de otra manera, como seres vivos, seres sociales y sobre todo como seres transformadores. Esta mirada no es otra que aquella que nos pone los pies en la tierra, nos hace sentir insignificantes, y nos dice que los cambios que hacemos en nuestro entorno, para adaptarlo a nuestra conveniencia, no pueden sobrepasar los recursos naturales de nuestro planeta. Este planeta es único, es nuestra casa y necesitamos mantenerlo vivo, limpio y sano.

Desde **CICYTEX** se potencia constantemente la investigación y el desarrollo de tecnologías sostenibles y respetuosas con el medio ambiente. Junto con el resto de los socios, dentro del marco del proyecto **LIFE ReNaturalNZEB**, se ha buscado el desarrollo, implantación y difusión del uso de materiales naturales en construcción, para conseguir edificios de consumo casi nulo, confortables, verdes y sostenibles.

El presente documento así como los videos creados pueden ser visionados y descargados gratuitamente en las siguientes URL's

SCAN ME



PDF



VIDEOS



Proyecto cofinanciado con la
Contribución del Programa LIFE
de la Unión Europea
Project co-funded with the
contribution of the LIFE Programme
of the European Union





Introducción

Con el objetivo de disminuir el consumo energético y el impacto medioambiental del sector de la construcción en Europa, se apuesta cada día más por acciones basadas en los conceptos de sostenibilidad y economía verde y circular. En el proyecto LIFE “**Recycled and Natural Materials and Products to develop nearly zero energy buildings with low carbon footprint**” (ReNaturalNZEB), con la contribución del Programa Life de la Unión Europea, se están ensayando y promoviendo nuevas soluciones constructivas para alcanzar **edificios de consumo de energía casi nulo con baja huella de carbono**, empleando materiales naturales, en España y Portugal.

Este manual está destinado principalmente a técnicos del sector de la construcción, y pretende poner en valor el uso del corcho, las fibras de kenaf y cáñamo, y la paja y la cáscara de arroz como materiales de construcción. En él se realiza un recorrido desde el origen del material en el campo hasta el procesado y colocación final de los materiales propuestos, identificando los productos existentes en el mercado, normativa aplicable y sus correspondientes certificados y distintivos de calidad.

Introduction

With the aim of reducing energy consumption and the environmental impact of the building sector in Europe, there is an increasing focus on actions based on the concepts of sustainability and green and circular economy. In the LIFE project “**Recycled and Natural Materials and Products to develop nearly zero energy buildings with low carbon footprint**” (ReNaturalNZEB), supported by the European Union Life programme, new building solutions are being tested and promoted, to achieve **Nearly Zero Energy Buildings with low Carbon Footprint**, using natural materials, in Spain and Portugal.

This manual is mainly aimed at technicians in the construction sector, and intends to highlight the use of cork, kenaf and hemp fibres, and straw and rice husks as construction materials. It takes a journey from the origin of the material in the field to the processing and final placement of the proposed materials, identifying the existing products on the market, applicable regulations and their corresponding certificates and quality labels.



Corcho

Introducción	12
El corcho desde los alcornoques	13
Alcornoque	13
El corcho	16
Composición química	17
Propiedades	18
Tipos de corcho	19



Aspectos medioambientales	21
Industria corchera	22
Obtención de la materia prima	23
La “saca” del corcho	24
Industria preparadora	25
Industria de segunda transformación	25
Industria de granulados y aglomerados	26
Granulado de corcho	26

Corcho en construcción	28
Productos	29
Aglomerado puro expandido de corcho	29
Granulados	32
Corcho proyectado	33
Soluciones constructivas	35
Cubierta plana	36
Cubierta inclinada	37
Cubierta inclinada - Forjado horizontal	38
Cubierta inclinada - Forjado inclinado	38
Fachada - Aislamiento exterior	39
Fachada - Aislamiento interior	40
Particiones interiores verticales	40
Particiones interiores horizontales	41
Aislamiento acústico	42
Aislamiento antivibracional	43
Otras aplicaciones	43
Fichas técnicas y certificaciones	44





Fibras naturales

Introducción	50
Kenaf	51
Cáñamo	52
Fibras vegetales, kenaf y cáñamo	53
Características de las fibras vegetales	53
Estructura	53
Tamaño de las fibras	56
Propiedades mecánicas	57
Porosidad, propiedades térmicas y propiedades acústicas	58
Industria del kenaf y del cáñamo	59
Kenaf	59
Cáñamo	60
Aspectos medioambientales	60
Huella de carbono. Fibras	61
Huella de carbono. Paneles aislantes	61
Aplicaciones de las fibras	61
Adsorbente	61
Materiales compuestos	61
Tableros particulados	62
Fabricación de papel	62

Obtención de fibras	62
Procesos biológicos. Método tradicional	63
Enriado por rocío	63
Enriado en agua	63
Procesos mecánicos	65
Separación verde o descortezado	65
Procesos físicos	68
Enriado por ultrasonidos	68
Método por explosión de vapor	68
Método Duralin®	68
Métodos químicos	69
Enriado enzimático	69
Fibras en construcción	70
Estudios acústicos	70
Fibra de kenaf	70
Fibra de cáñamo	71
Agramiza de kenaf	71
Cañamiza	71
Estudios térmicos	72
Fibra de kenaf	72
Fibra de cáñamo	72
Agramiza de kenaf	72
Cañamiza	72
Soluciones constructivas	73
Cubierta inclinada - Forjado horizontal	74
Aislamiento de cubierta	74
Particiones interiores verticales	74
Particiones interiores horizontales	75
Falsos techos	75
Otros usos en construcción	76
Fichas técnicas y certificaciones	77



Subproductos del arroz

Introducción	87
El arroz	87
Subproductos del arroz	88
Cáscara de arroz	89
Composición química	89
Propiedades	90
Estudios preliminares de aplicaciones constructivas	91

Paja de arroz	92
Composición química	93
Propiedades	94
Estudios preliminares de aplicaciones constructivas	94
Aspectos medioambientales	95
Emisiones quema de paja de arroz	95
Análisis de ciclo de vida. Construcción con balas de paja	96
Análisis de ciclo de vida. Módulos prefabricados de paja	96
Obtención de la materia prima	97
Obtención de la cascarilla de arroz	97
Recogida de la paja de arroz	98
Subproductos de la industria arrocera en construcción. Productos	99
Balas de paja	99
Cáscara de arroz como relleno de aislante	100
Panel aislante de cáscara de arroz	100
Panel aislante de paja de arroz	101



Soluciones constructivas 102

Balas de paja	103
Muros de paja como elemento estructural (Nebraska)	104
Estructuras con postes y vigas	104
Sistema GREB	105
Células bajo tensión (Cut-cells under tension)	106
Sistema prefabricado modular	107
Sistema wrapping o de forrado	107
Cáscara de arroz	108
Relleno	108
Panel aislante cáscara de arroz	109
Cubierta inclinada - Forjado horizontal	109
Cubierta inclinada - Forjado inclinado	109
Particiones interiores verticales	109
Panel aislante paja de arroz	110
Cubierta inclinada - Forjado horizontal	110
Fachada - Aislamiento interior	110
Falso techo	111

Fichas técnicas y certificaciones 112

Agradecimientos 117

Bibliografía y referencias corcho 118

Bibliografía y referencias fibras naturales 121

Bibliografía y referencias subproductos del arroz 126





Corcho

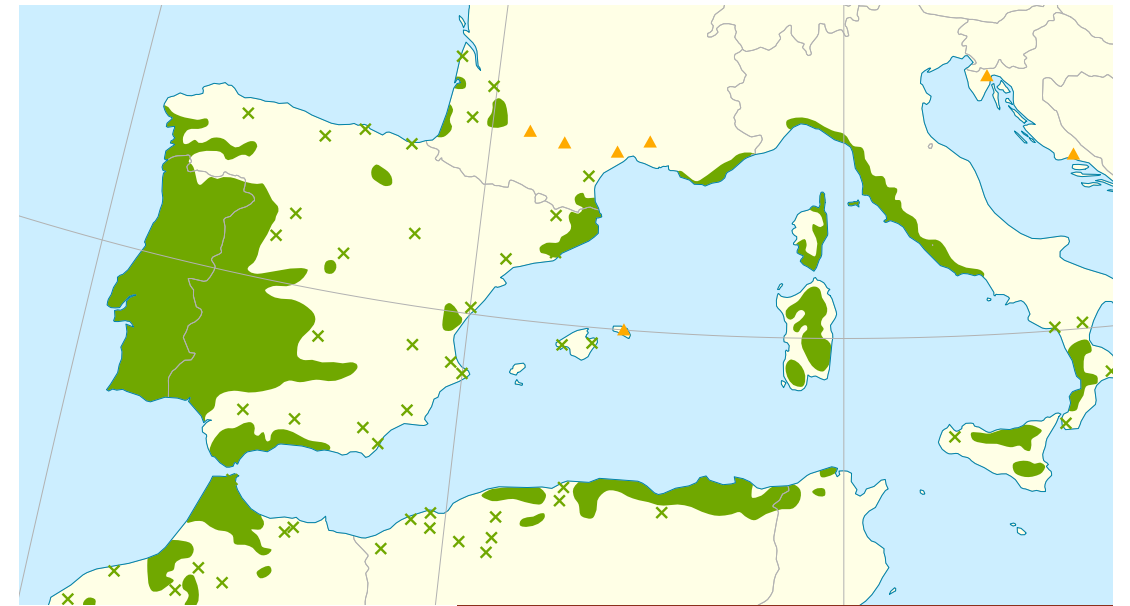


Introducción

En la actualidad, en el sector de la construcción se apuesta cada día más por nuevas pautas basadas, entre otras, en los conceptos de sostenibilidad y de edificio de consumo energético casi nulo (NZEB). Esto, unido a la tendencia actual de desarrollar un futuro circular, transformando lo que antes se consideraba desperdicio en nuevas oportunidades creativas, presenta el corcho como material de construcción natural y sostenible, con multitud de usos y un enorme potencial gracias a sus propiedades aislantes. Además, es un material renovable, reciclable, sano e inocuo para la salud que combina ecología y rendimiento

y por lo tanto una oportunidad para la tan necesaria construcción sostenible (Pacheco Menor, 2015).

El corcho es una materia prima natural y renovable que se obtiene de la corteza exterior del alcornoque y que presenta, además, una gran versatilidad (Luís Gil, 2009). Es ligero, elástico, flexible, impermeable a gases y líquidos, imperecedero y conocido por ser un buen aislante térmico, acústico y eléctrico, además de su capacidad para amortiguar vibraciones (Anjos *et al.*, 2010, 2011; Castro *et al.*, 2010; Luís Gil, 2009).



Distribución del alcornoque, Giovanni Caudullo CC BY 4.0

La Península Ibérica ha concentrado la producción, la industria y el comercio del corcho desde mediados del siglo XX, debido a su ubicación en las principales regiones vitivinícolas del mundo, la abundante presencia de corcho en bruto y una mano de obra barata (OIV, 2013; Parejo Moruno, 2004; Zapata Blanco, 2002; Zapata *et al.*, 2009). Esta combinación de factores ha dado lugar a una concentración del negocio global del corcho tanto en Portugal como en España, pero con una distribución desigual. Portugal ha experimentado una evolución importante, se ha convertido en la principal potencia industrial del corcho en el mundo y ha sustituido a España en la posición preeminente que ocupaba desde el siglo XVIII. En los últimos años, el sector del corcho ha sufrido la crisis de la

demanda europea, principalmente por la disminución del consumo del vino en todo el mundo (OIV, 2013). Según información del Ministerio de Solidaridad y Seguridad Social de Portugal, el número de empresas del sector del corcho disminuyó un 18% entre 2007 y 2011 (APCOR, 2014). Sin embargo, en los últimos años el sector ha experimentado un crecimiento significativo con la aparición de varios compuestos y productos aglomerados a base de corcho (S. Dias *et al.*, 2018). Se encuentran numerosas aplicaciones para los materiales de corcho aglomerado, siendo sus usos como aislante térmico (Barreca & Fichera, 2016; Tadeu *et al.*, 2014) y aislamiento acústico de impactos (António *et al.*, 2013; Branco & Godinho, 2013; Silva *et al.*, 2005; Tadeu *et al.*, 2014), algunos de los más importantes.

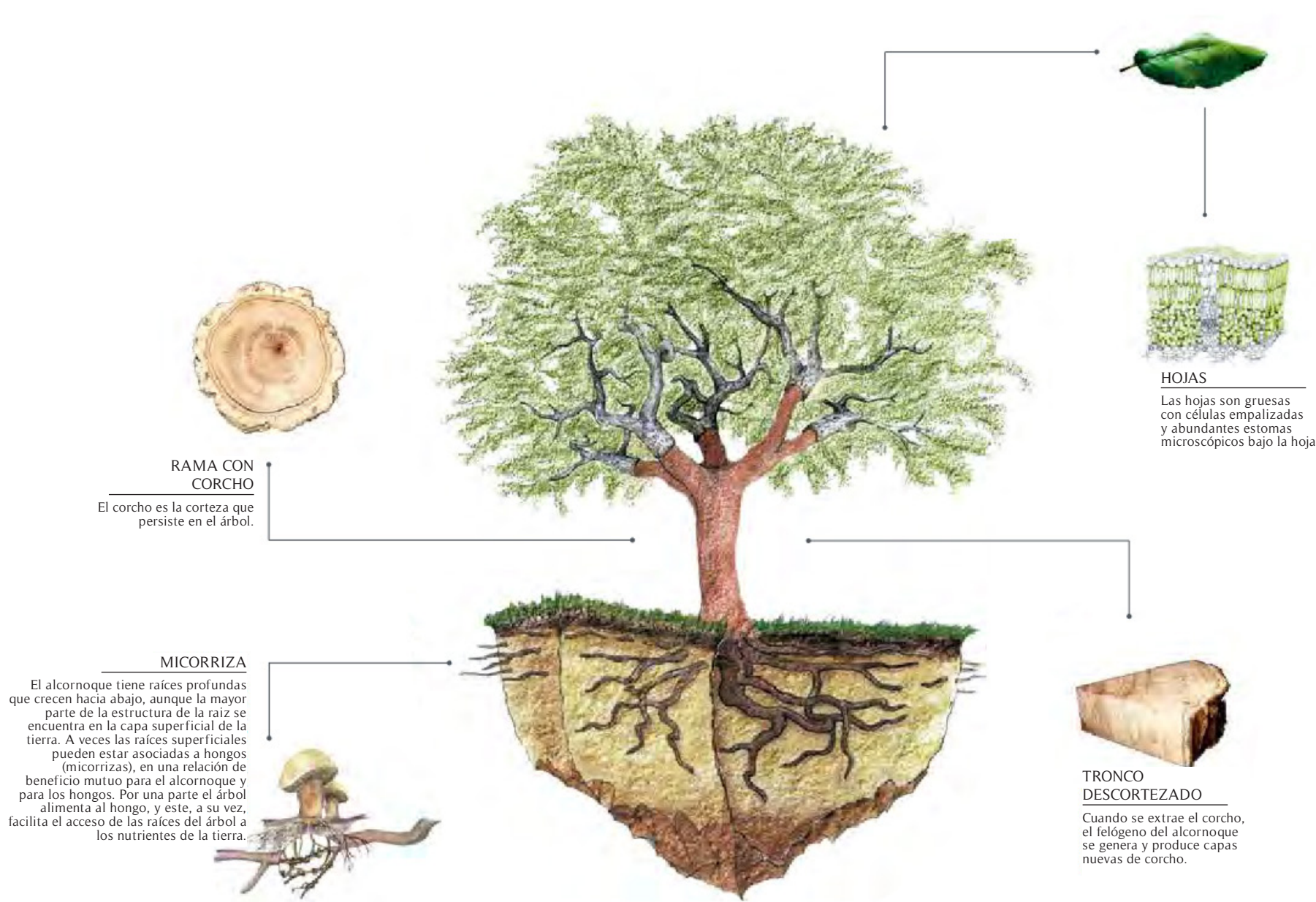


El corcho desde los alcornoques

Alcornoque

El corcho es un tejido que forma parte de la corteza del alcornoque (*Quercus suber* L.), una especie arbórea autóctona típica del bosque mediterráneo.

Los alcornoques presentan uno de los mayores índices de biodiversidad vegetal del mundo y, además, representan unos espacios vitales para algunas especies animales amenazadas como el lince ibérico, el águila imperial y el ciervo de Berbería (Jové Martín, 2015). Asimismo, esta especie está relacionada con importantes funciones ecológicas como la conservación de suelos, la regulación del ciclo hídrico y la retención de carbono. En cuanto al almacenamiento de carbono, parte del carbono fijado por los alcornoques se transfiere a los productos de corcho, lo que otorga a los productos de corcho el potencial de mitigar el cambio climático al almacenar carbono hasta el final de su vida útil (A. C. Dias & Arroja, 2014; Luís Gil & Pereira, 2007).



El alcornoque, Diseño Francisco Quirino, APCOR - Asociación Portuguesa del Corcho



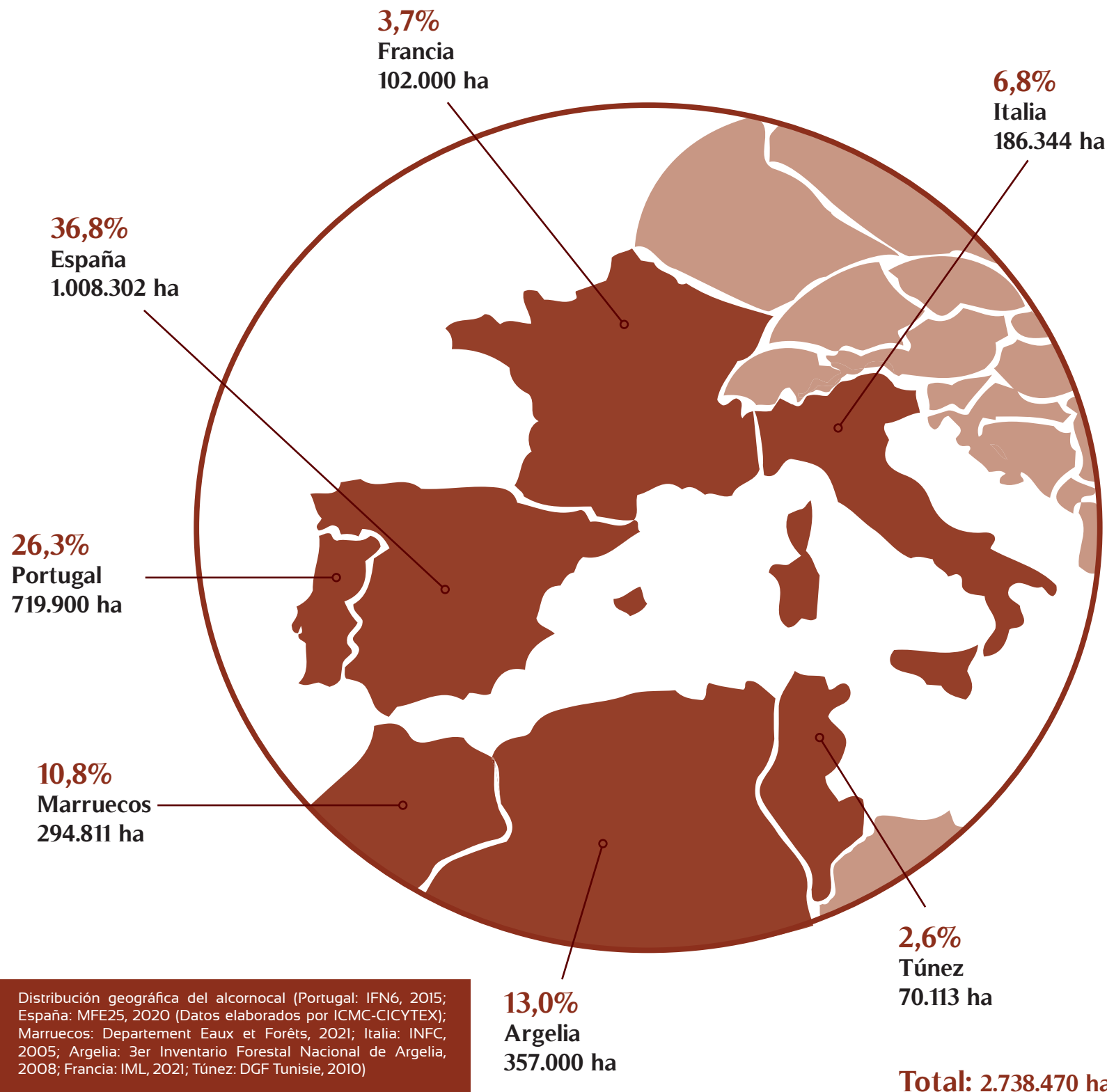
APARTE DEL VALOR AMBIENTAL, EL
ALCORNOCAL REPRESENTA UN VALOR
ECONÓMICO ELEVADO, AL TRATARSE DE
UN TIPO DE EXPLOTACIÓN AGROFORESTAL
ALTAMENTE SOSTENIBLE, YA QUE PERMITE
EXTRAER UN MATERIAL DE ELEVADO
VALOR COMERCIAL SIN PROVOCAR UNA
PERTURBACIÓN IMPORTANTE EN LAS
COMUNIDADES BIOLÓGICAS EXISTENTES

La capa de corcho se extrae del árbol sin afectar a su viabilidad y se regenera después de unos años, permitiendo así sucesivas extracciones a lo largo de su vida. Esta operación estimula el crecimiento de corteza nueva por parte del árbol, aumentando la producción de corcho de 3,5 a 5 veces, al tiempo que aumenta la fijación de CO₂ (Gil, 2013). La vida del alcornoque es muy larga y puede producir corcho desde los 30 hasta los 150, incluso llegar a los 200 años (Riboulet & Alegoet, 1986).



Descorche, Observatorio de la Dehesa y el Montado





ESPAÑA ES EL PAÍS QUE PRESENTA MAYOR SUPERFICIE DE ALCORNOCAL DEL MUNDO CON 1.008.302 ha

El alcornoque es un bosque netamente mediterráneo occidental. Sus masas naturales se extienden principalmente por 7 países al norte y sur de este mar, con realidades sociales y económicas muy diversas: Portugal, España, el sur de Francia, parte de Italia (sobre todo Sicilia y Cerdeña), Argelia, Marruecos y Túnez. Estas zonas cumplen las condiciones climáticas necesarias para su crecimiento: veranos secos e inviernos con temperaturas suaves (Jové Martín, 2015).

Se conservan actualmente en el mundo alrededor de 2,7 millones de ha de alcornoques, de los cuales más del 60% se concentra en Europa (Barberis *et al.*, 2003). La mayoría de los alcornoques en explotación se encuentran en Portugal y España, donde se realiza un aprovechamiento forestal a tres bandas: forestal, agrícola y ganadero.

Distribución geográfica del alcornoque (Portugal: IFN6, 2015; España: MFE25, 2020 (Datos elaborados por ICMC-CICYTEX); Marruecos: Departement Eaux et Forêts, 2021; Italia: INFC, 2005; Argelia: 3er Inventario Forestal Nacional de Argelia, 2008; Francia: IML, 2021; Túnez: DGF Tunisie, 2010)

Total: 2.738.470 ha

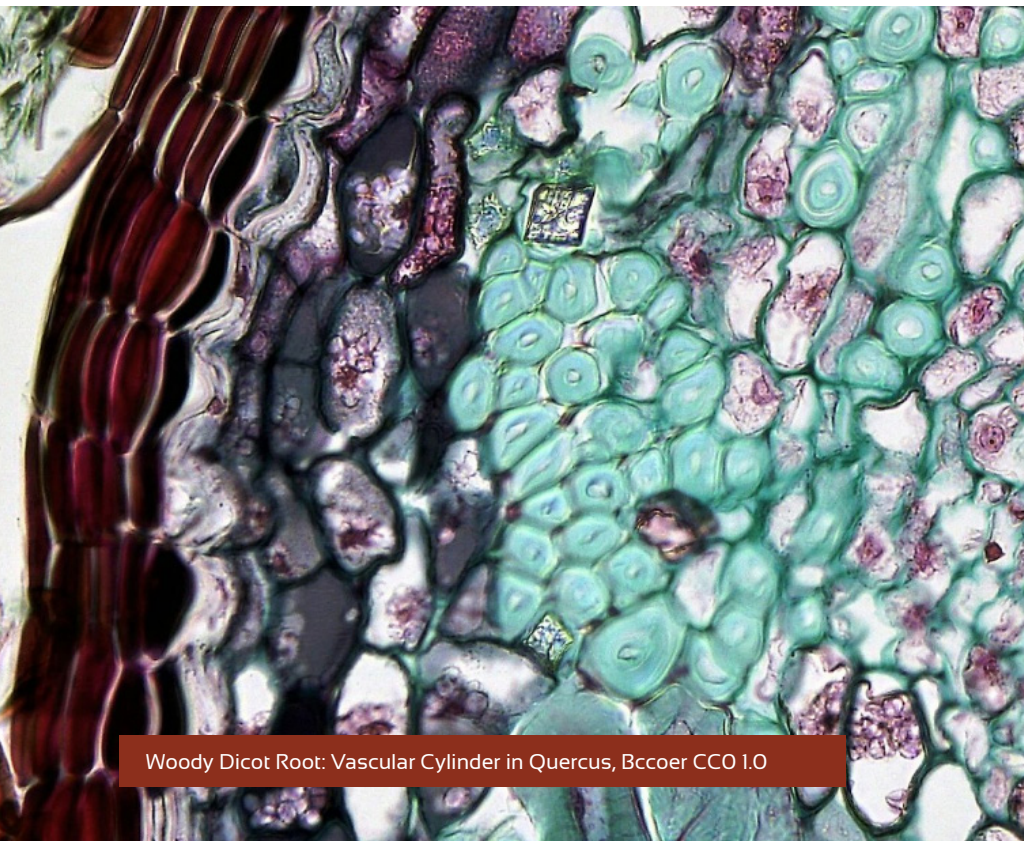


El corcho

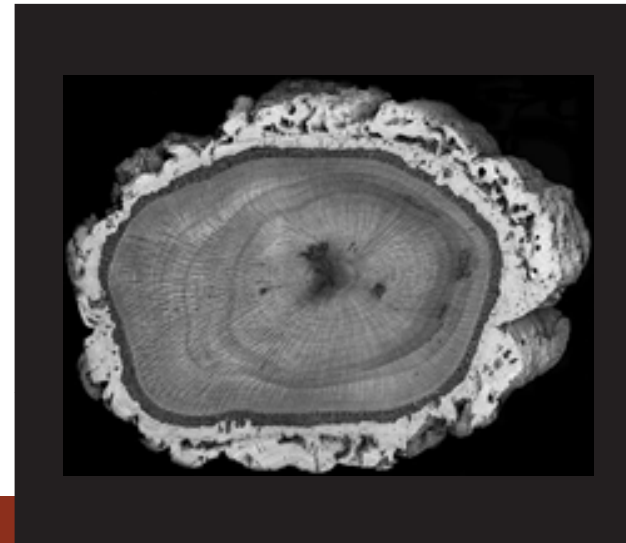
El corcho es un tejido vegetal formado por células muertas que protegen las partes vivas del tronco y ramas del alcornoque.

En una pana de corcho se pueden distinguir la espalda y el vientre o barriga. La espalda es la parte que está, antes de la saca, en contacto con el aire y en ella se encuentra una zona leñosa, dura, oscura y frágil que se denomina raspa. El vientre o barriga es la parte que en el momento de la saca está en contacto con los tejidos vivos del árbol.

El corcho se forma como consecuencia del crecimiento del grosor del árbol, o crecimiento secundario. La zona donde se produce está formada por un conjunto o camada de células que se mantienen vivas hasta que, con la saca del corcho, mueren. Esta camada recibe el nombre de felógeno.

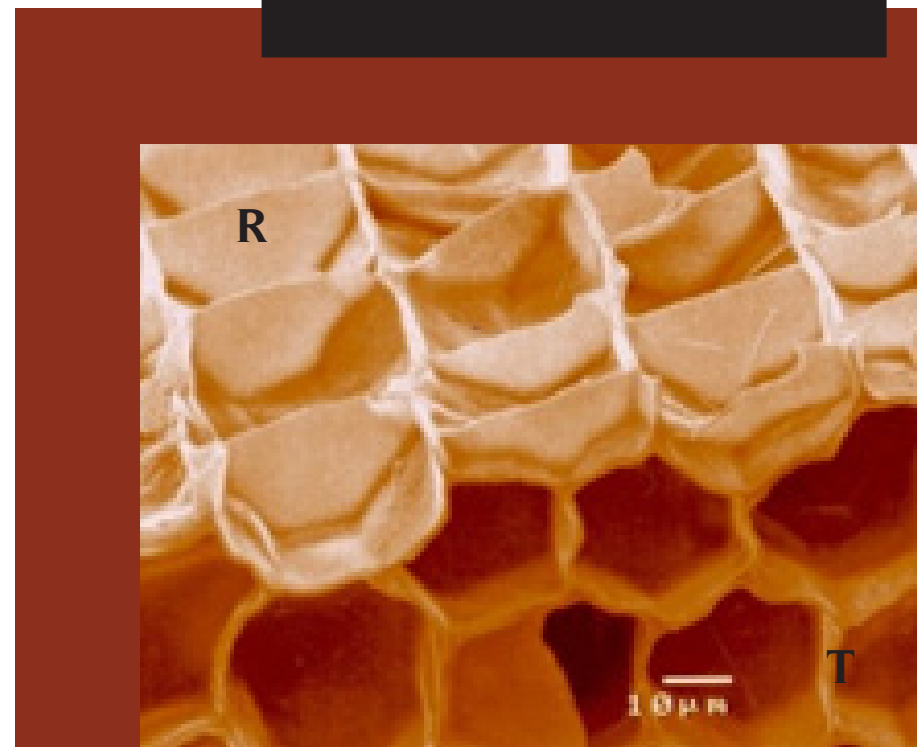


Sección de un tronco de un alcornoque, Go Suber, 2021



En el corte transversal del tronco del alcornoque, el anillo situado entre el corcho y la madera recibe el nombre de casca o capa madre, por él circula la savia elaborada. En la capa madre hay dos capas que están produciendo células.

El felógeno produce corcho hacia el exterior y la felodermis hacia el interior. En la parte interna, el cambium vascular produce madera o xilema hacia el interior, y floema o líber hacia el exterior (del Pozo Barrón *et al.*, 2000).



Células de corcho R: Dirección radial; T: Dirección tangencial, ICMC-CICYTEX



COMPOSICIÓN QUÍMICA

La composición química del corcho es substancialmente diferente del resto de partes del árbol. Los componentes del corcho son, por orden de importancia relativa, la suberina (50% aprox.), lignina (20-25%), polisacáridos (celulosa y hemicelulosa-20%), sustancias extraíbles, que incluyen mayoritariamente sustancias lipídicas y fenólicas (14-18%) y componentes inorgánicos (1-2%) (H. Pereira, 2007; Silva *et al.*, 2005).

- **Suberina:** polímero formado por ácidos grasos lineales de cadena larga, alcoholes y glicerol unidos por enlaces esteres que se ensamblan formando estructuras en forma de cinta. Es el componente responsable de la elasticidad y permite la flexión y el colapso de la pared celular (Graça & Pereira, 2004).
- **Lignina:** polímero reticulado aromático que es responsable de la rigidez estructural de las células y su resistencia a la compresión (Marques & Pereira, 2013).
- **Polisacáridos:** la celulosa y hemicelulosa juegan un papel minoritario ya que se encuentran en menor proporción (Helena Pereira, 2013). Proporciona resistencia frente a esfuerzos de tracción.
- **Extractivos:** son un conjunto de compuestos “libres” no vinculados químicamente (o vinculados con enlaces débiles) a la estructura principal y, por tanto, pueden ser extraídos con un disolvente. Los compuestos extraíbles del corcho más importantes son las ceras y los compuestos fenólicos (Silva *et al.*, 2005).

“LA ARQUITECTURA MODERNA NO SIGNIFICA EL USO DE NUEVOS MATERIALES, SINO UTILIZAR LOS MATERIALES EXISTENTES EN UNA FORMA MÁS HUMANA”

Alvar Aalto



PROPIEDADES

El corcho tiene una combinación inusual de propiedades: baja densidad, muy baja permeabilidad a líquidos y gases, baja conductividad, químicamente estable, duradero y alta compresibilidad con buena recuperación. La elevada cantidad de gas, el bajo poder de adsorción de agua y la medida celular, entre otras características, hacen que el corcho tenga gran versatilidad y que pueda ser usado para múltiples finalidades (Verdum Virgos *et al.*, 2020). A continuación, se enumeran las propiedades más significativas:

1. Las células del corcho tienen un 90% de volumen celular ocupado por gas, por lo tanto, su **densidad presenta valores bajos (120-200 kg/m³)** haciendo del corcho un material elástico y compresible, con una estructura interna marcadamente porosa (Jové Martín, 2015).
2. Además, la presencia de suberina, lignina y ceras en la pared celular hacen del corcho un **material impermeable** a los líquidos. No obstante, su impermeabilidad no es absoluta, ya que permite una difusión lenta de los gases (Verdum Virgos *et al.*, 2020).
3. El elevado contenido de gas, el tamaño de las células y el bajo poder de adsorción hacen que tenga una **baja transmisión del calor** y por lo tanto es un **buen aislante térmico**. La conductividad térmica del corcho sin triturar ni modificar es de 0,045 W/m·K (Jové Martín, 2015).
4. La baja densidad y la elevada porosidad hacen que la mayoría de las ondas sonoras se adsorban y se transformen en energía calorífica, así pues es un **buen aislante acústico y corrector acústico**, ya que adsorbe más del 60% de las ondas sonoras que inciden en su superficie (Verdum Virgos *et al.*, 2020).
5. El corcho, debido a su estructura celular, tiene una **elevada resistencia al movimiento / deslizamiento o elevado coeficiente de fricción (0,35-0,76 corcho-cristal)** (Vaz & Fortes, 2002), debido al efecto ventosa que provoca la superficie de las células.

6. La posible deformación y flexión de las paredes celulares confiere al corcho la **capacidad de amortiguación**. Es una propiedad muy importante para algunas aplicaciones como los tapones, la industria automovilística o la industria textil (Verdum Virgos *et al.*, 2020).

7. El alto contenido de aire de sus células permite que se pueda comprimir hasta casi la mitad sin perder flexibilidad, y recuperar su forma y volumen cuando se deja de presionar. El corcho es **compresible, elástico y resiliente**. Es el único sólido que si se comprime por un lado, no aumenta por el otro (Verdum Virgos *et al.*, 2020). Presenta un coeficiente de Poisson próximo a cero (del Pozo Barrón, 2000).

8. La lignina y los polisacáridos de la pared celular del tejido suberoso le proporcionan **rigidez, estabilidad** y lo hacen **resistente** al paso del tiempo (Verdum Virgos *et al.*, 2020).

9. El corcho se hidrata en función de las condiciones ambientales, es **higroscópico**. Diversos estudios han demostrado el potencial del corcho para adsorber contaminantes emergentes, por lo que es **biosorbente** (Verdum Virgos *et al.*, 2020).

10. **Es 100% natural, reciclable y renovable** porque es un material de origen vegetal que se puede extraer sin herir el árbol y se regenera con el paso de los años. Permite un equilibrio sostenible entre la gestión agroforestal y la acción del hombre. En la línea de las actuales tendencias de materiales naturales y de construcción sostenible, es un claro ejemplo de economía circular (Verdum Virgos *et al.*, 2020).



TIPOS DE CORCHO

Teniendo en cuenta su procedencia y aplicación, se pueden distinguir en la fase de campo los siguientes tipos de corcho (del Pozo Barrón, 2000):

a) Bornizo

Es el corcho que se produce en troncos y ramas en la primera extracción. Su espalda es muy rugosa y presenta grandes colenas (grietas longitudinales profundas), lo que hace que no tenga un calibre homogéneo. Su vientre es irregular y se traba con el tronco. El bornizo no es viable para la producción de tapones. Existen distintos tipos de bornizo, entre ellos se encuentran:

Bornizo de verano: es el resultado del primer aprovechamiento corchero. Su destino es el granulado, el aglomerado o la decoración.

Bornizo de invierno: es el que se obtiene fuera de la época de descorche, procedente de podas o de árboles derribados. Suele contener trozos de capa madre. Se llama vulgarmente chaspa o falca y se destina a la industria de granulado, como materia prima en la construcción.



Alcornoque recién descorchado, <https://proyectoalcornoque.wordpress.com/>



b) Corcho de reproducción

Se forma en las sucesivas sacas tras la extracción del bornizo. Sus superficies son más regulares que las del bornizo y ya puede destinarse al tapamiento y a otros usos. En este tipo de corcho se puede distinguir:

Corcho secundario: es el que se obtiene en la segunda saca, tras el bornizo. Su espalda aún es agrietada, pero menos que la del bornizo y presenta un color más oscuro. Su vientre es liso, lo que indica que la espalda del próximo corcho de reproducción también lo será. Este tipo de corcho, salvo excepciones, aún no es útil para tapón, por ello suele dedicarse a trituración.

Corcho de fábrica: es el corcho propiamente de reproducción. Su espalda y su vientre son prácticamente lisos y su calibre homogéneo. Es apto para la industria del tapamiento. Se produce en la tercera y sucesivas sacas.

Además, la norma UNE-EN 633:2010 sobre corcho define otros tipos de corcho tras la saca: pedazos, refugo, zapatas, corcho de rebusca y bornizo de tala. Estos tipos de corcho no alcanzan la calidad suficiente para la fabricación de tapones, por lo que se derivan a la industria trituradora.

Los tipos de corcho descritos anteriormente se refieren a una clasificación del corcho en campo (corcho crudo), pues no han sufrido ninguna transformación tras la saca. Las panas de corcho se clasifican en relación a su idoneidad para su procesado industrial y el potencial valor de los productos que se obtienen de ellas. El tapón de corcho natural es el más rentable, por su valor en el mercado.

El corcho de reproducción puede presentar calidades muy diferentes que se corresponden con precios muy distintos. Los parámetros determinantes de la calidad



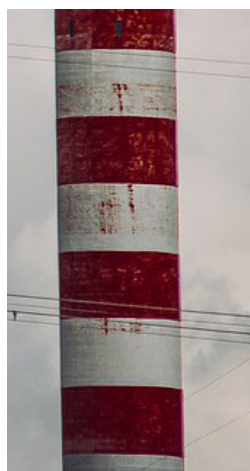
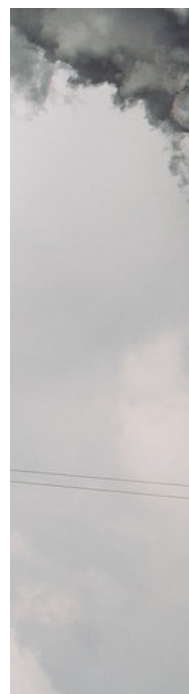
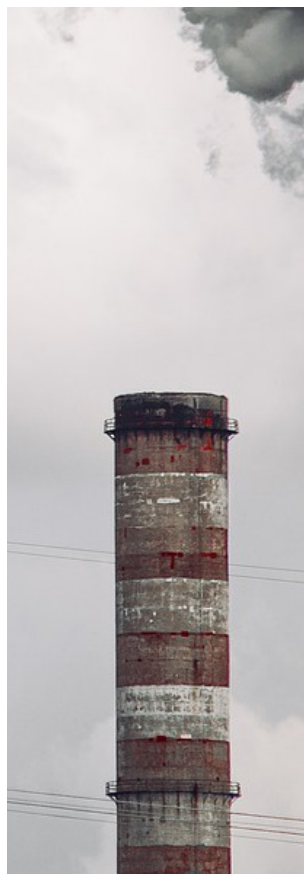
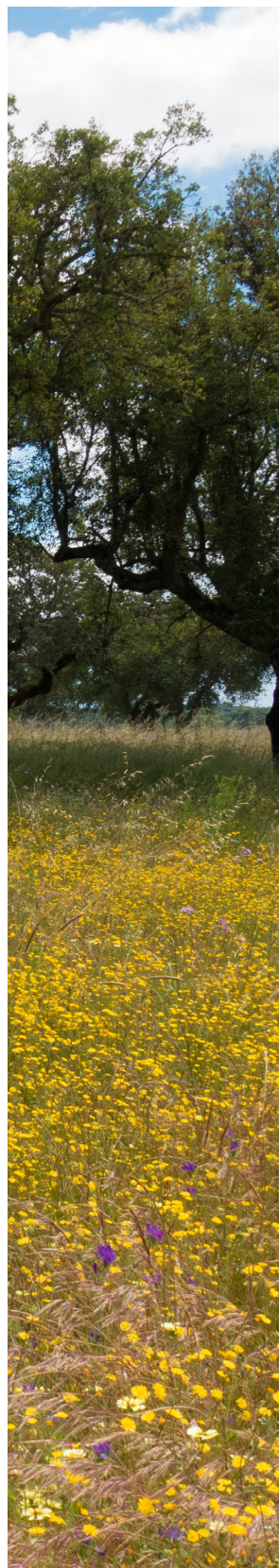
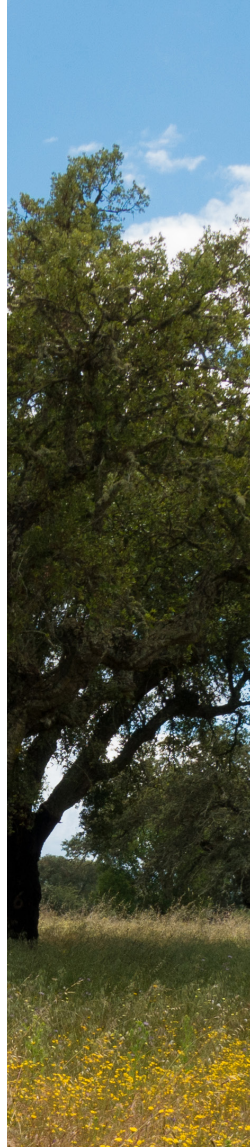
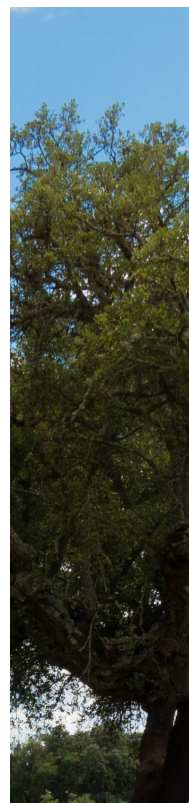
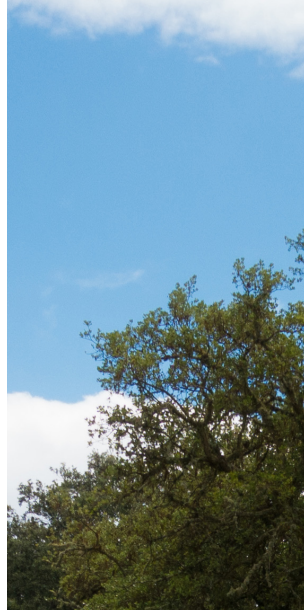
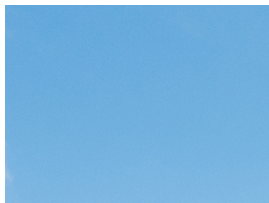
Cala de muestra de calidad, ICMC-CICYTEX

del corcho están agrupados en dos clases principales, en relación con dos características importantes: (a) el calibre del corcho y (b) el aspecto que presenta tanto en el costado como en el vientre y la espalda (Calderón Guerrero, 2012).

Se denomina calibre a la dimensión de la plancha en sentido radial, es decir, el grosor de la plancha entre la barriga y la raspa (Ávila Nogales *et al.*, 1998).

El aspecto es un factor cualitativo que valora la capacidad de cerramiento, el aspecto estético, la higiene, el comportamiento ante la extracción, etc. Hay una serie de detalles intrínsecos y casuales que lo conforman: porosidad, densidad, estado de la barriga y de la espalda, color y crecimiento (Ávila Nogales *et al.*, 1998).





Aspectos medioambientales

Perfectamente adaptados al clima cálido y al suelo árido, los alcornoques protegen contra la erosión y la desertificación. Son barrera contra el fuego, debido a la débil combustión del corcho y desempeñan un papel importante en la regulación del ciclo hidrológico. También proporcionan un aporte esencial al aire que respiramos, al absorber dióxido de carbono, que sin ellos se liberaría a la atmósfera.

Estos bosques son un ejemplo perfecto del **equilibrio entre la preservación del medio ambiente y el desarrollo sostenible**; el solo hecho de que no se tale ningún árbol durante la extracción del corcho es un caso único en términos de sostenibilidad.

Jesús Rives *et al.* evaluaron el Potencial de Calentamiento Global (GWP 100 años), y se encontró que **el sector del corcho contribuyó a la fijación de dióxido de carbono** y consecuentemente puede ayudar a mitigar el cambio climático, además de generar productos de corcho. En concreto, 3,4 toneladas de CO₂ eq. se emitieron para convertir una tonelada de corcho crudo del bosque en productos, mientras que se fijan 18 toneladas de CO₂ como consecuencia de la existencia de alcornoques; el saldo resultante fue -14,6 toneladas de CO₂ (Rives *et al.*, 2013).



Industria corchera

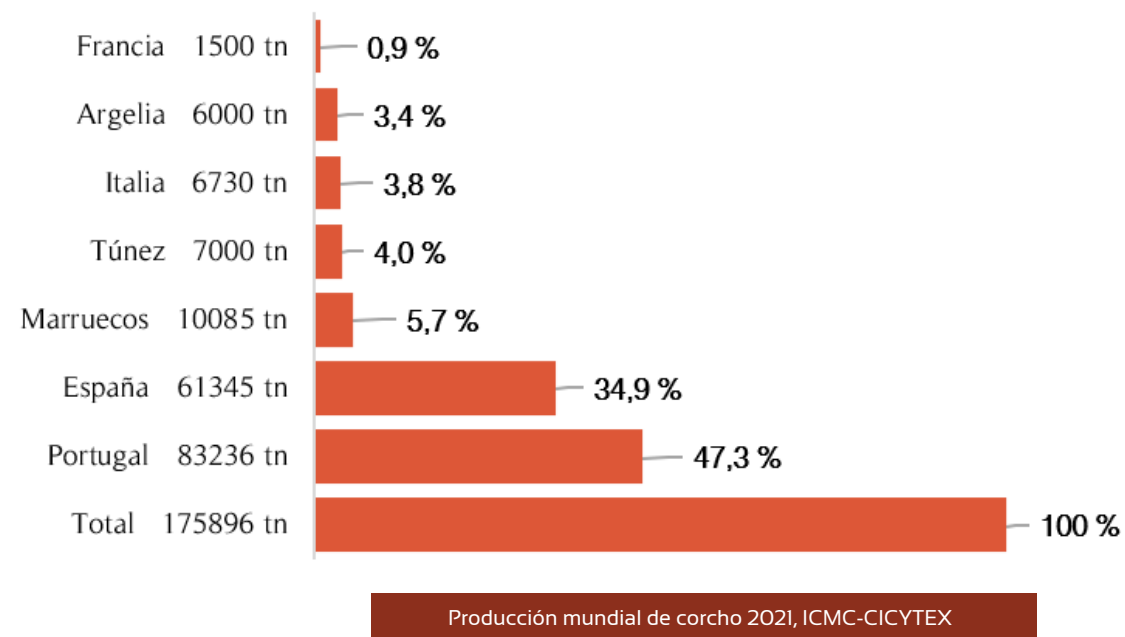
Actualmente, la mayor parte de la explotación de corcho se concentra en Portugal y España, aportando el 80% de corcho extraído en todo el mundo (Sierra-Pérez *et al.*, 2015), concretamente Portugal es el mayor productor del mundo con aproximadamente el 50% del corcho procesado (Luís Gil, 2013).

Hoy en día, el tapón de corcho natural sigue siendo el producto más valorado de la industria corchera, y es el eje en torno al cual giran todos los productos y elementos relacionados. La siguiente clasificación refleja la tipología de industrias en el sentido de avance del producto, desde la primera transformación hasta su consecución como producto terminado (Trinidad Lozano, 2011):

- Industrias de preparación del corcho en plancha.
- Industrias transformadoras.
- Industrias terminadoras.
- Industrias de granulados.
- Industrias de transformación del corcho aglomerado.

En la práctica, estos grupos de empresas están interconectados entre sí, dado que el flujo de materia prima, productos intermedios y desechos son aprovechados por el siguiente integrante de la cadena productiva.

Para el desarrollo de elementos constructivos a base de corcho, objeto del presente capítulo, se utiliza como materia prima corcho de inferiores calidades procedentes de la poda del alcornoque y de subproductos de la industria de fabricación de tapones.



ACTUALMENTE, LA MAYOR PARTE DE LA EXPLOTACIÓN DE CORCHO SE CONCENTRA EN PORTUGAL Y ESPAÑA, APORTANDO EL 80% DE CORCHO EXTRAÍDO EN TODO EL MUNDO

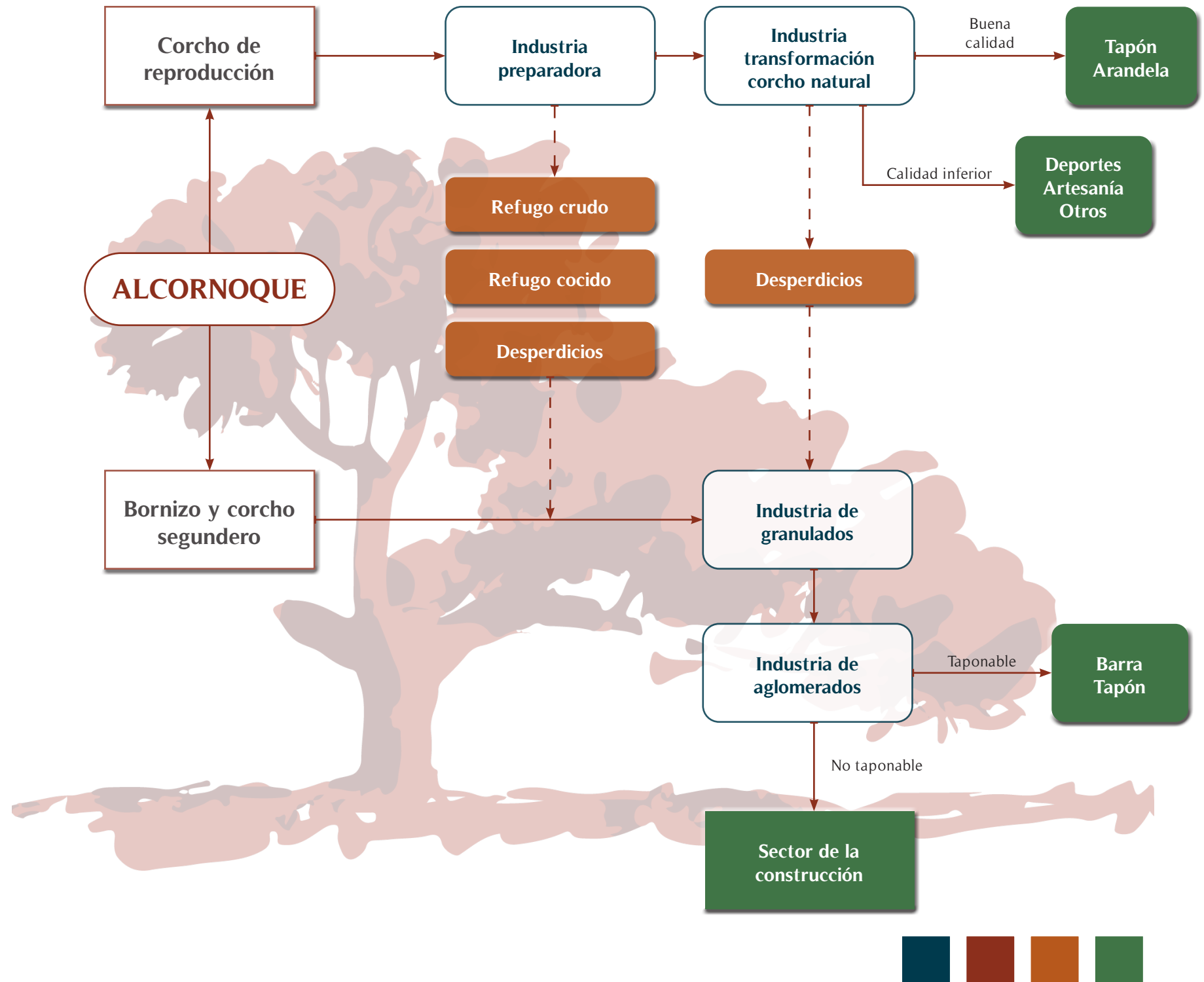


Obtención de la materia prima

Centrándonos en el desarrollo de soluciones constructivas a partir del corcho, la materia prima que se utiliza como punto de partida para la fabricación de las distintas soluciones constructivas es el granulado de corcho.

A continuación, se hace una breve descripción del procedimiento industrial generalizado para la consecución de dicho producto.

Diagrama de flujo. Desde el alcornoque al producto final





1) Descorche, ICMC-CICYTEX



2) Pila de corcho en campo, ICMC-CICYTEX



3) Transporte de planchas de corcho, ICMC-CICYTEX

La “saca” del corcho

El descorche o saca consiste en extraer de los alcornoques la corteza que los reviste, el corcho. La mejor época para el descorche es entre mayo o junio y agosto, período que se corresponde con la etapa de máxima intensidad del periodo vegetativo del alcornoque.

La primera saca del corcho, correspondiente a la extracción del bornizo, es realizada cuando el **perímetro del tronco alcanza los 70 cm, medidos a 130 cm de altura**. Las sucesivas sacas se llevan a cabo en un periodo comprendido entre 9 y 14 años. En la segunda saca es extraído el corcho secundero. Es a partir de la tercera saca cuando se obtiene el corcho denominado de fábrica, cuyas características son ideales para la fabricación de tapones (del Pozo Barrón, 2000).



4) Alcornoque recién descorchado, ICMC-CICYTEX



Industria preparadora

La industria preparadora o de primera transformación, primer paso antes de cualquier manufactura, se encarga del primer proceso de selección y preparación del corcho en plancha para cualquier operación posterior. El proceso recibe este nombre porque su finalidad principal es preparar, poner en las condiciones adecuadas el corcho que se ha extraído de los árboles para su transformación. Básicamente consiste en cocer el corcho y seleccionar aquel que es apto para fabricar tapones.

Como subproducto se obtienen los refugos y desperdicios, que son utilizados en la industria de granulados y aglomerados.



Preparación del corcho en plancha: 1) Reposo en crudo; 2) Cocido del corcho; 3) Reposo en bodega; 4) Retaqueo y escogido, ICMC-CICYTEX

Industria de segunda transformación

La industria de transformación adquiere el corcho en plancha y lo transforma según su clasificación y calidad en distintos productos de corcho natural.

En su mayor parte está orientada a la producción de tapón natural y arandela, para tapón champagne o discos para tapón técnico, para lo cual se destinan las partidas de corcho de mejor calidad. Otras empresas transformadoras orientan su producción, con corchos de inferior calidad, a la producción de todo tipo de productos secundarios como artículos deportivos, calzado, decoración, etc.

Estas actividades generan gran cantidad de desperdicios no utilizables dentro de su proceso, que van destinados a la industria de fabricación de granulados y aglomerados.



Fabricación tapón natural: 1) Rebaneo; 2) Perforación; 3) Brocas; 4) Secado, ICMC-CICYTEX



Industria de granulados y aglomerados

Reciben su materia prima proveniente de subproductos y desechos de las industrias preparadoras y transformadoras de corcho natural y lo transforman, primero en granulados y posteriormente en productos aglomerados según su destino.

GRANULADO DE CORCHO

Las planchas de corcho que no tienen un calibre suficiente para la producción de tapones o discos naturales, los restos de fabricación o de baja calidad, así como el bornizo de invierno, son triturados.

Fase 1

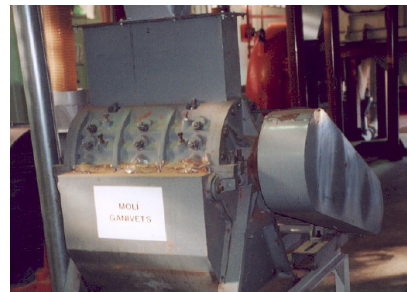
En la primera fase, el corcho es atrapado y roto en pedazos, mediante un molino de martillos. Se “destrozan” las piezas de cualquier tamaño de corcho reduciendo las partículas en pedazos de, como máximo, unos 20 cm, para hacerlas transportables neumáticamente o por gravedad.



Molino destrozador, Remacha Gete, 2008

Fase 2

En la segunda fase, los pedazos pasan a molinos de cuchilla, que trabajan por percusión, lo que permite reducir su tamaño y liberar el corcho de tierras y polvo que tiene oculto en el interior. En otros casos, pasan directamente a los molinos de piedra. También disponen de una malla de salida que limita el tamaño de grano que pasa a la fase siguiente. Aquí se realiza, además de una trituración, una preclasificación.



Molino de cuchillas, Remacha Gete, 2008

Fase 3

En la tercera fase, los serrines son llevados a unos tamices clasificadores, donde, según la luz de malla que tengan, se seleccionarán los tamaños de granos a producir. De esta forma se agrupa el granulado en diferentes granulometrías.



Tamiz vibratorio, Ávila Nogales et al., 1998

Fase 4

La siguiente fase corresponde a la selección de la densidad de los serrines que se ejecuta en unas máquinas llamadas mesas densimétricas. Esta etapa consiste en separar los gránulos en función de su densidad mediante corrientes de aire. De esta manera se obtienen gránulos de diferente calidad con aplicaciones diferentes. Los de mayor calidad, es decir, los de menor densidad, se utilizan para la fabricación de tapones aglomerados; y los de menor calidad se destinan a otras industrias, como el sector de la construcción (Remacha Gete, 2008).



Mesas densimétricas, Ávila Nogales et al., 1998



Fase 5

El **granulado** almacenado en silos, es conveniente que pase por una etapa de secado y precalentamiento.

Es necesario que el producto final sea homogéneo, es decir, que los serrines partan con una humedad media de entre 5 y 8%, por lo que los serrines han de pasar por un proceso de secado, sobre todo en invierno. De esta manera, se alimenta la mezcla a un secador rotativo en continuo por el que circula aire caliente en contracorriente.

Tras estas transformaciones primarias se obtiene un granulado de diversos tipos y tamaños, que constituirá la materia prima de los diferentes procesos de fabricación que se llevarán a cabo posteriormente.



Secadero de gránulos, Ávila
Nogales *et al.*, 1998

"HAY UN NUEVO ENTENDIMIENTO
UNIVERSAL DE QUE LAS FUERZAS
DE MERCADO SON ESENCIALES
PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE"

Kofi Annan



Corcho en construcción

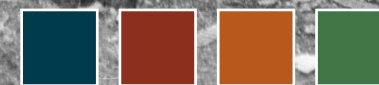
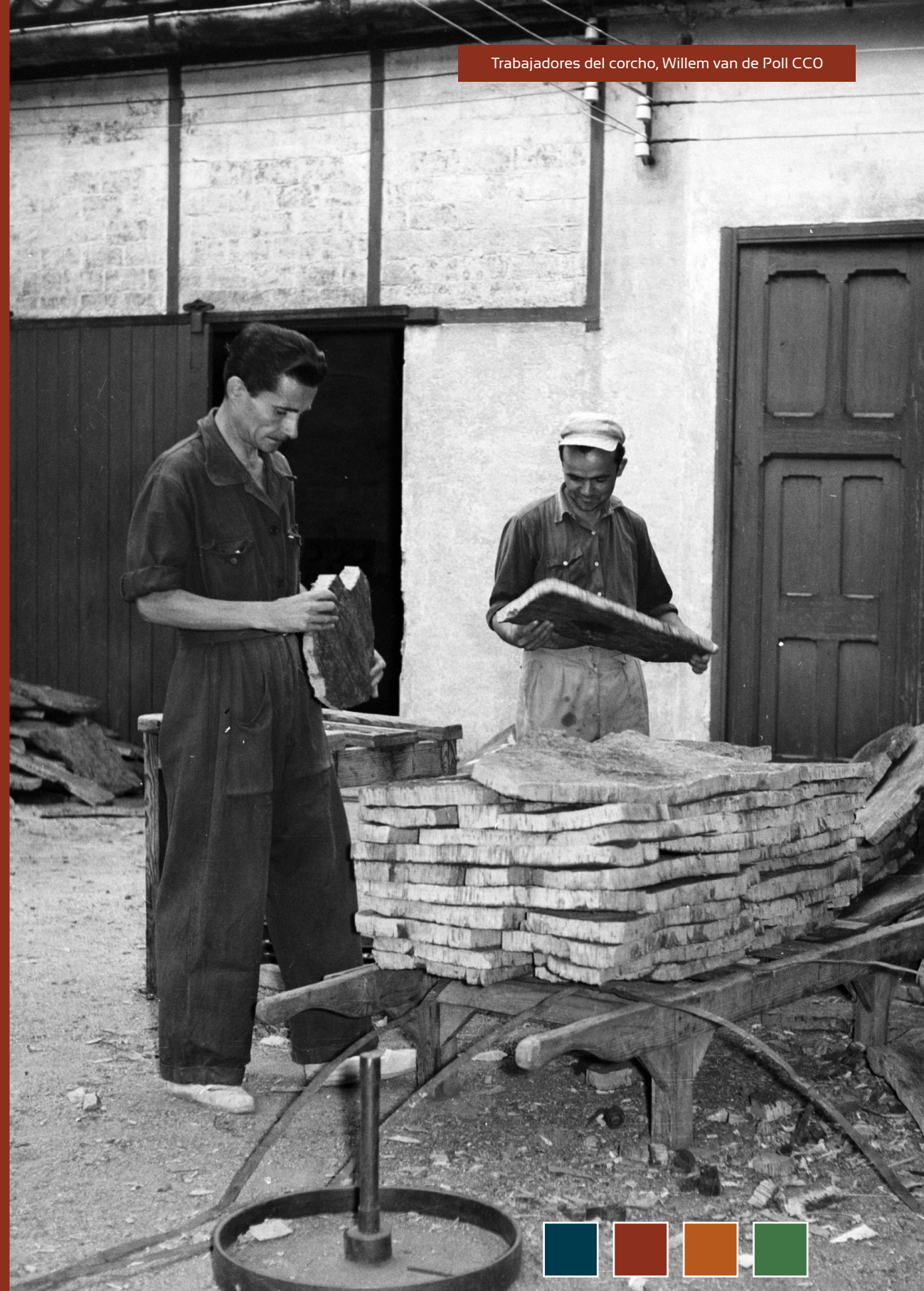
El corcho aplicado a la construcción era utilizado ya por los árabes como aislamiento térmico de las viviendas; hacían paredes colocando tongadas alternas de piedra y pedazos de corcho bornizo del grueso de un ladrillo, uniéndose dichos materiales con tierra o arcilla amasada. En la cubierta se usaban las panas de bornizo y los desechos del segundero, constituyéndose así una techumbre ligera y de gran duración, por la incorruptibilidad del material empleado (del Río Merino, 2005).

A finales del siglo XIX, John T. Smith consiguió que las clases inferiores de corcho que no son aptas para la obtención de manufacturas de corcho natural, así como sus desperdicios, se destinaran a la obtención de granulados, significando esto el aprovechamiento integral de todas las clases de corcho. Es por tanto, a partir de este momento cuando empieza a manufacturarse como un producto específico para la construcción (del Río Merino, 2005).

Las soluciones constructivas de corcho son el segundo destino por orden de importancia dentro del sector. La mayoría de los usos de los productos de corcho en la construcción están relacionados con el aislamiento térmico, acústico y vibracional.

Sin embargo, el mercado europeo de aislantes todavía está dominado por materiales fibrosos inorgánicos (alrededor del 60%) como lana de roca y lana de vidrio, seguidos de materiales espumosos orgánicos (alrededor del 30%) como poliuretano, poliestireno extruido y poliestireno expandido (Sierra-Pérez *et al.*, 2016). Los hábitos y prácticas actuales en la construcción y la falta de información sobre sus consecuencias ambientales justifican la baja participación de otras opciones más adecuadas desde el punto de vista medio ambiental, como en este caso el corcho (Proietti *et al.*, 2013).

Para cubrir este vacío, la Unión Europea está promoviendo la instauración de esquemas comunes para el normalizado y ecoetiquetado de materiales de construcción, incluyendo la Declaración Ambiental de Producto (DAP) y el marcado de conformidad europea (CE) (Proietti *et al.*, 2013).



Productos

Los productos y soluciones constructivas que tienen como materia prima al corcho se presentan de tres formas diferentes (planchas, rollos y granulados). Dentro de estas tres formas se dividen en dos subgrupos dependiendo de cómo se hayan aglomerado. En el presente manual, atendiendo a sus propiedades como aislante, solo serán objeto de estudio:

- Aglomerado puro expandido de corcho.
- Granulados (natural y regranulado de corcho expandido puro).
- Corcho proyectado.



Panel de corcho expandido,
Pacheco Menor, 2021

AGLOMERADO PURO EXPANDIDO DE CORCHO

El aglomerado expandido puro de corcho, comúnmente conocido como aglomerado negro, es un producto fabricado a base de granulados de corcho triturado, expandido y aglutinado exclusivamente por su propio aglomerante natural, la suberina, exudado de las paredes celulares del corcho por calentamiento bajo presión, que tiene lugar en autoclaves.

En la definición de aglomerado puro expandido, entran en juego los siguientes términos (Remacha Gete, 2008):

- **Puro:** está constituido sólo por corcho unido con su propia suberina, que actúa como aglomerante. Al no existir ningún producto ajeno, se puede decir que es un material natural y que conserva casi todas las propiedades del corcho.
- **Expandido:** los granos de corcho sufren una expansión (110% como máximo) cuando su temperatura sube hasta 300 - 350°C con la ayuda de vapor de agua.
- **Negro:** se debe al color que adquiere el corcho como consecuencia de la temperatura alcanzada.



Como no es perecedero, este producto se revela como una fuente de ahorro de recursos naturales y económicos. Además, al final de su vida útil puede ser reciclado para ser utilizado con otros fines (Leal Carrasco, 2013). Por tanto, se puede decir que es un producto totalmente natural, reciclable y duradero. Algunos muestreos y pruebas de paneles de aglomerado negro utilizados en edificación durante 30 - 50 años, mostraron que su apariencia y propiedades no sufrieron cambios significativos con el paso de los años (Luís Gil, 2013b).

El aglomerado negro se utiliza en construcción como panel de corcho aislante (ICB). Hoy en día,

su principal aplicación es como aislante térmico, utilizándose como aislante acústico los granulados de menor calibre y densidad. Por otro lado, en su uso como absorbente de vibraciones se utiliza un granulado de mayor densidad (L Gil *et al.*, 2011).

Este formato de panel es adecuado para una gran variedad de soluciones constructivas:

- Cubierta plana tradicional.
- Cubierta inclinada.
- Aislamiento de fachada.
- Particiones verticales y horizontales.

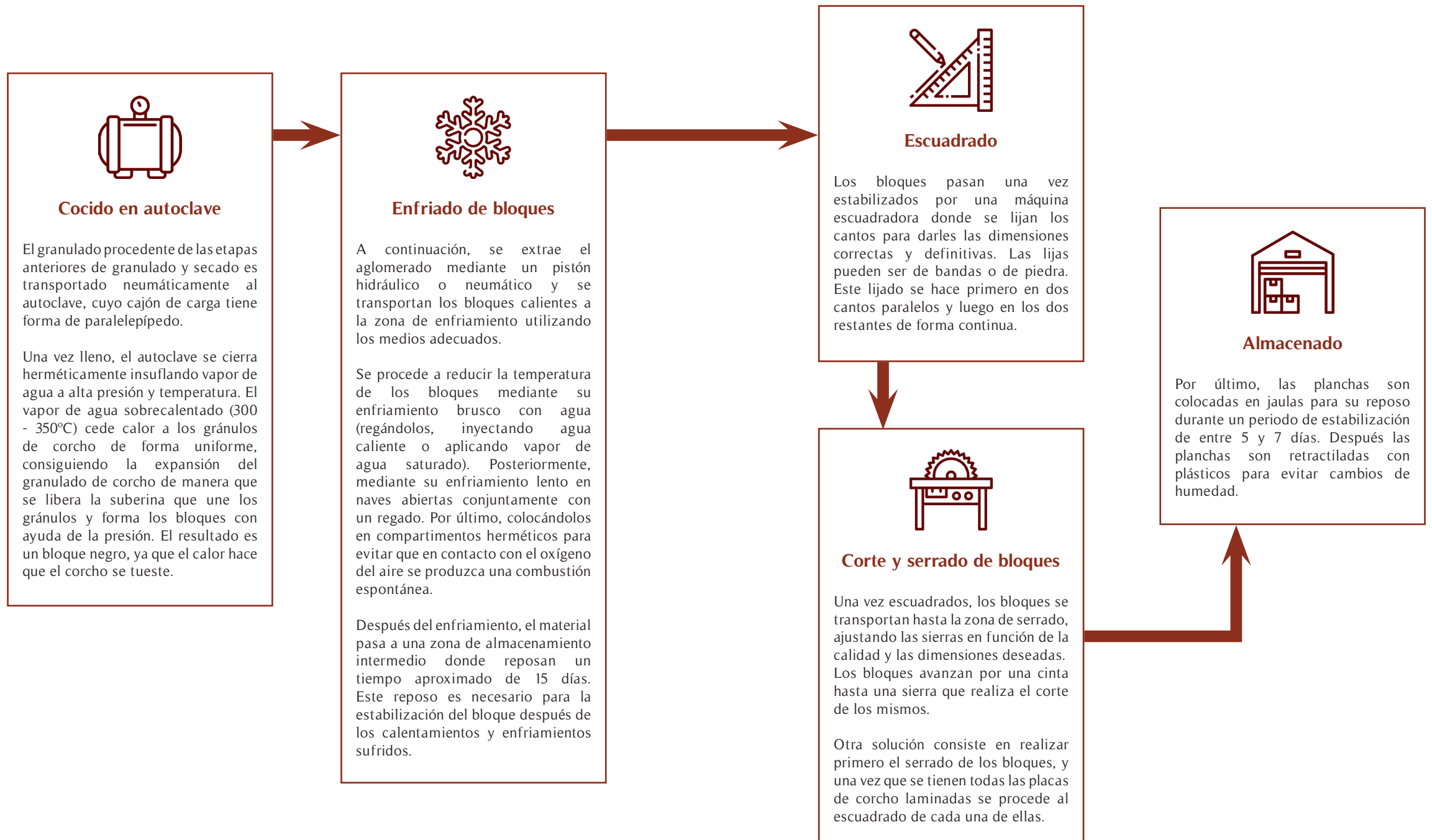
EL CORCHO COMO MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN ES ÚNICO. ES UN MATERIAL DURABLE, SEGURO, CONFORTABLE Y ECOLÓGICO

Entre sus características más importantes cabe destacar, aparte de las propias del corcho citadas anteriormente (Segura Cruz, 2019):

- **Durabilidad**, gracias a su capacidad resistente frente a las variaciones atmosféricas y a que no se pudre fácilmente.
- **Seguro**, debido principalmente a su reacción frente al fuego ya que es difícilmente combustible, no propaga la llama y es autoextinguible.
- **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, que repercute en sus propiedades como aislante térmico, acústico y antivibracional.
- **Ecológico**, como propiedad del corcho en materia de ecología, se debe destacar su huella ecológica o huella de carbono. La huella de carbono del panel de corcho expandido es de $-116,229 \text{ Kg CO}_2/\text{m}^3$, siendo el material aislante que presenta el valor más bajo de todos los productos del mercado (Tártaro *et al.*, 2017).



Proceso de fabricación



GRANULADOS

Dentro de este tipo de formato aparecen dos productos que se diferencian entre sí por su origen: por un lado, el granulado de corcho natural, procedente del corcho natural triturado sin ningún proceso previo. Por otro lado, el regranulado de corcho expandido puro, que procede del reciclaje de las planchas de corcho expandido.



Granulado de corcho natural, Pacheco Menor, 2021



Regranulado de corcho expandido, Pacheco Menor, 2021

DESDE EL PUNTO DE VISTA FUNCIONAL,
EL REGRANULADO DE CORCHO TIENE
MAYOR IMPORTANCIA EN EL SECTOR
CONSTRUCTIVO

El regranulado de corcho expandido es un subproducto que procede del reciclaje del aglomerado expandido puro de corcho. Este producto se obtiene a partir de la trituración de las planchas de aglomerado expandido que han presentado alguna imperfección tras el proceso de fabricación, de las operaciones de corte y aserrado de las planchas, así como del rectificado de las planchas dañadas durante su producción. También se obtiene del reciclaje de las placas de ICB, procedentes de edificaciones que han sido demolidas o rehabilitadas.

Entre las aplicaciones de ambos productos en el sector de la construcción se encuentran:

- **Relleno aislante térmico y acústico:** como relleno, mediante insuflado o llenado por gravedad, de cámaras de aire presentes en cubiertas, paredes exteriores, dobles paredes interiores y suelos.
- **Áridos ligeros, en la fabricación de hormigón ligero y morteros:** en función de la densidad de partícula (Pacheco Menor, 2015).
- **Corcho proyectado**

Proceso de fabricación

Por un lado, consiste en someter a las piezas de ICB procedentes de las operaciones de corte y aserrado, junto con las que han sido recicladas, a un proceso de trituración hasta obtener la granulometría deseada.





Por otro lado, cuando la fabricación de ICB se destina a la obtención de regranulado, el proceso de fabricación es el mismo que en el caso de las planchas de aglomerado expandido puro, la diferencia es que a partir de que se saca el bloque de aglomerado del autoclave no pasa por la escuadradora. Este bloque, después de su enfriamiento y estabilización, pasa al molino de trituración donde se rompe de nuevo en pedazos hasta obtener distintos tamaños de grano.



CORCHO PROYECTADO

El corcho para proyectar, corcho proyectado, es un revestimiento compuesto por una mezcla de materiales basados en el granulado de corcho. El granulado se disuelve en una solución con celulosa, una emulsión acrílica en base agua y con los pigmentos orgánicos e inorgánicos que le otorgan el color.

Este producto ofrece una serie de ventajas y características muy útiles en el sector de la construcción:

-  **Regula la temperatura:** el corcho proyectado trabaja como un corrector térmico, reduciendo los puentes térmicos en fachadas, paredes y arcos, teniendo en cuenta el espesor aplicado.
-  **Mejora acústica:** absorbente acústico, minimizando los ruidos de impacto, aéreos y de reverberación.
-  **Evita microfisuras:** su alta flexibilidad permite absorber tensiones estructurales impidiendo la aparición de microfisuras.
-  **Amortigua el ruido de impacto:** el corcho proyectado es un amortiguador del ruido de impacto, también conocido como efecto tambor, producido por la lluvia. Además, su gran poder de impermeabilidad ofrece una ventaja extra frente a este elemento.

El proyectado de corcho es un revestimiento de acabado que se aplica fundamentalmente en la envolvente de los edificios, cubiertas y fachadas. Su utilización está presente tanto en la rehabilitación de edificios, como en obra nueva de construcciones modulares.

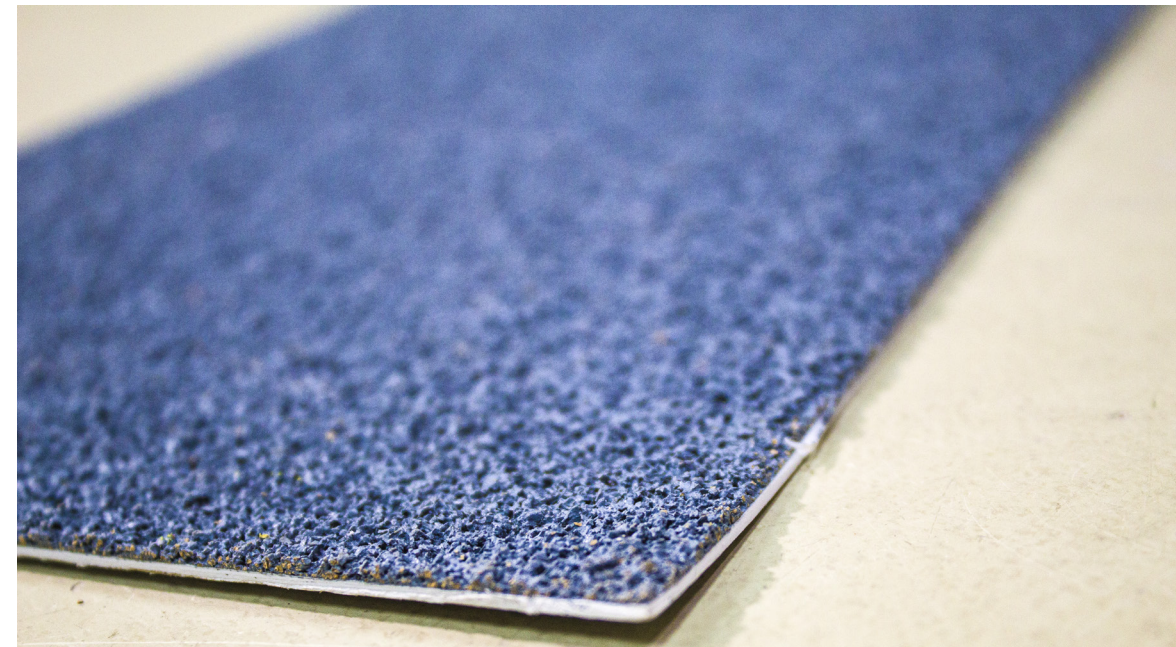
Con la aplicación de corcho proyectado se consigue que un edificio adquiera niveles más altos de sostenibilidad, ya que es un producto renovable o reciclado de la biosfera que responde a las exigencias actuales de protección y preservación del medio ambiente.



- **Evita las condensaciones:** el corcho proyectado es muy permeable al vapor de agua por lo que evita condensaciones.



- **Durabilidad:** tiene una excelente durabilidad y no requiere mantenimiento.



Corcho proyectado, Pacheco Menor, 2021



El revestimiento de corcho proyectado puede ser empleado en múltiples soportes. Esto hace que tenga una gran variedad de **aplicaciones**:

- Rehabilitación de fachadas y cubiertas.
- Revestimiento de fachadas y cubiertas.
- Impermeabilización y protección de humedades y condensaciones de edificios.
- Reducción de puente térmico en pilares y forjados y corrector térmico.
- Absorbente acústico-reverberación.

EL CORCHO PROYECTADO HA SIDO TESTADO Y CERTIFICADO COMO UN PRODUCTO IDÓNEO PARA EL ENCAPSULAMIENTO DE AMIANTO, FRENANDO SU PROPAGACIÓN AL MEDIO AMBIENTE. ADEMÁS, HABRÍA QUE AÑADIR EL AHORRO ENERGÉTICO Y ECONÓMICO QUE SUPONE ESTA UTILIDAD

"Colours-Narrow", <https://buyspraycork.com/>

Otra aplicación a destacar es su uso para el **encapsulamiento de amianto**. La prohibición de amianto en la construcción, legislada por las directivas europeas, así como la propuesta de soluciones a las construcciones con fibrocemento, ponía fin a la utilización del mismo en los materiales de construcción. Estas prohibiciones venían impuestas debido a que la manipulación de materiales que contienen amianto pueden suponer riesgos para la salud.

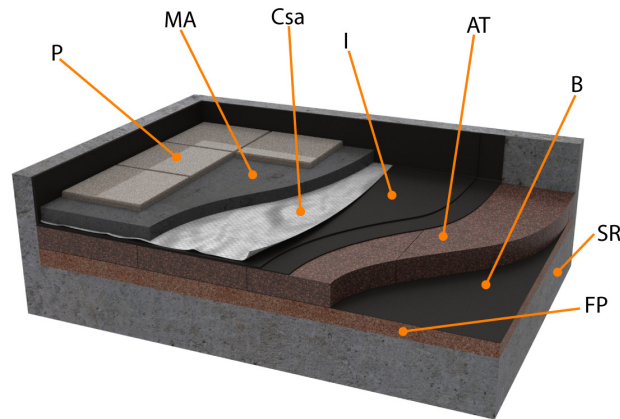


Soluciones constructivas

A continuación, se presentan las distintas soluciones constructivas que ofrecen los materiales expuestos previamente, en función del lugar que ocupan dentro de la vivienda (Pacheco Menor, 2021).



Cubierta plana



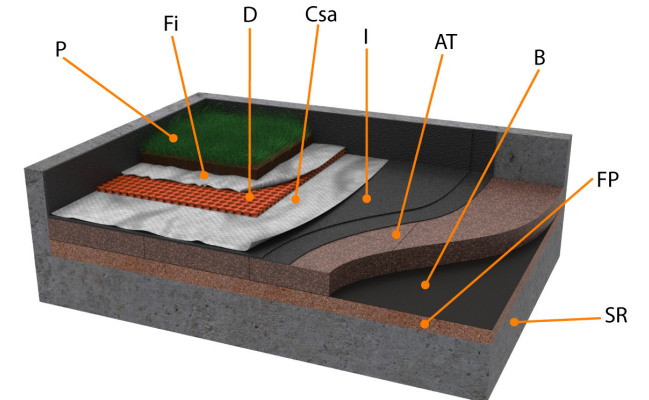
Cubierta plana transitable. Solado fijo

Solado fijo como capa de protección, apta para la circulación normal de personas. El solado fijo puede ser de diversos materiales (cerámico, piedra, terrazo, etc.) y se coloca sobre una capa de material de agarre o nivelación (mortero, lecho de arena, etc.).

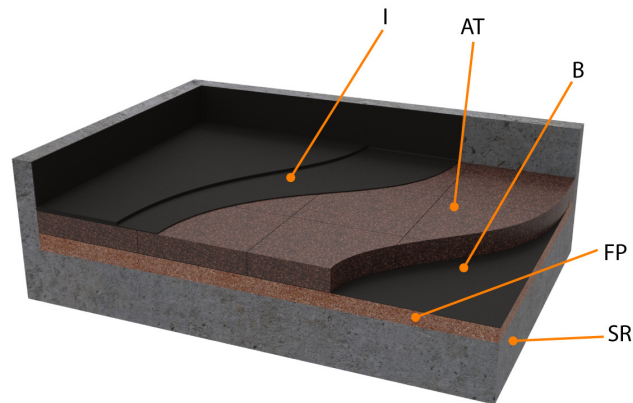
P: capa de protección. Solado fijo
MA: material de agarre o nivelación
Csa: capa separadora bajo protección
I: capa de impermeabilización
AT: aislante, ICB
B: barrera de vapor
FP: formación de pendientes
SR: soporte resistente

Cubierta plana no transitable. Ajardinada

Capa de protección de tierra que la hace apta para su uso como jardín. La capa de protección se dispone sobre una capa filtrante. La capa impermeable se protege de la capa drenante con una capa separadora bajo protección.



P: capa de protección. Tierra
Fi: capa filtrante
D: capa drenante
Csa: capa separadora bajo protección
I: capa de impermeabilización
AT: aislante, ICB
B: barrera de vapor
FP: formación de pendientes
SR: soporte resistente



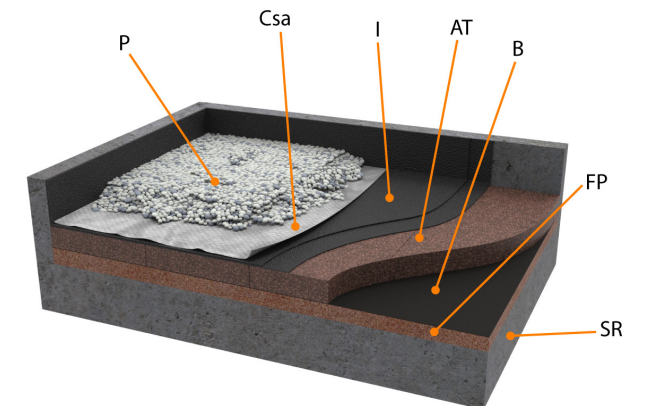
Cubierta plana no transitable. Autoprottegida

La capa superficial es una capa de impermeabilización. No es transitable por su delgado espesor. La capa de impermeabilización se fija al aislante térmico. Se coloca una barrera contra el vapor sobre el soporte resistente.

I: capa de impermeabilización
AT: aislante, ICB
B: barrera de vapor
FP: formación de pendientes
SR: soporte resistente

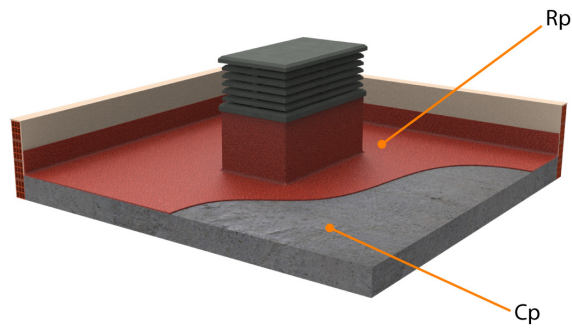
Cubierta plana no transitable. Grava

Capa superficial de protección de grava seguida de una lámina impermeabilizante y de una capa de aislante. La capa impermeabilizante queda protegida mediante una capa separadora.



P: capa de protección. Grava
Csa: capa separadora antipunzante bajo protección
I: capa de impermeabilización
AT: aislante, ICB
B: barrera de vapor
FP: formación de pendientes
SR: soporte resistente





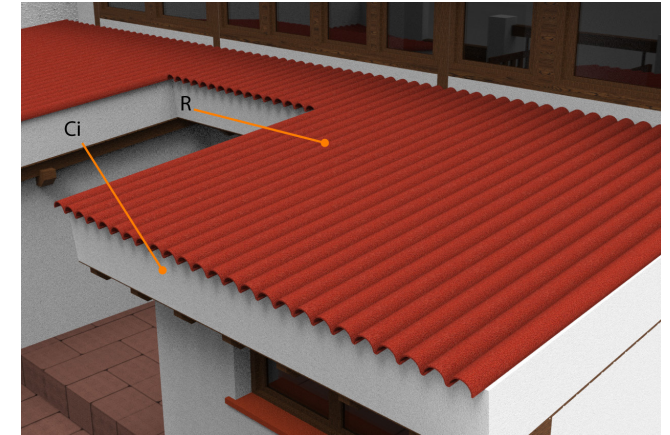
Rp: revestimiento, corcho proyectado
Cp: cubierta plana transitable y no transitable

Cubierta plana, transitable solado fijo y no transitable autoprotegida

Elemento constructivo que una vez saneado y acondicionado se aplica, sobre la capa de impermeabilización o capa resistente, un revestimiento de corcho proyectado para incrementar la impermeabilización y el aislamiento térmico.

Cubierta inclinada. Con capa de protección

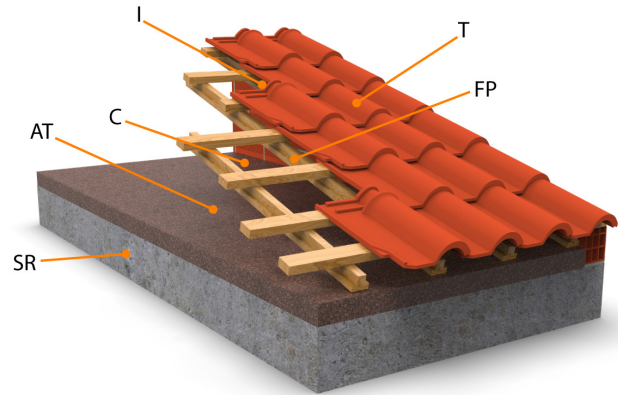
Elemento constructivo que una vez saneado o instalado es aplicado, sobre la capa de protección, un revestimiento de corcho proyectado como impermeabilizante y/o aislante térmico.



Ci: cubierta inclinada
R: revestimiento, corcho proyectado



Cubierta inclinada - Forjado horizontal

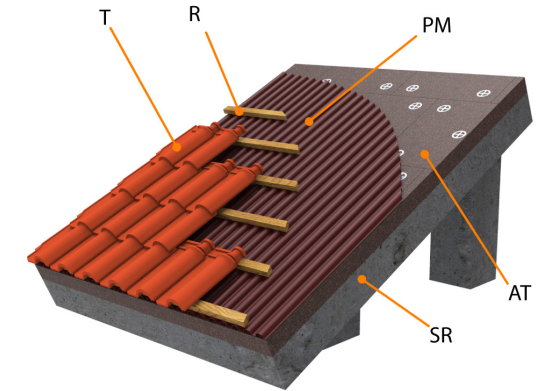


T: tejado
I: capa de impermeabilización
FP: formación de pendientes
C: cámara de aire ventilada
AT: aislante, ICB o regranulado
SR: soporte resistente

Forjado horizontal. Ventilada. Con capa de protección

El tejado actúa como capa de protección de diversos materiales (teja, pizarra, placas). Formación de pendiente realizada por un soporte de madera, cerámico u hormigón posicionado por encima de la cámara de aire ventilada. El aislante se posiciona sobre el soporte resistente.

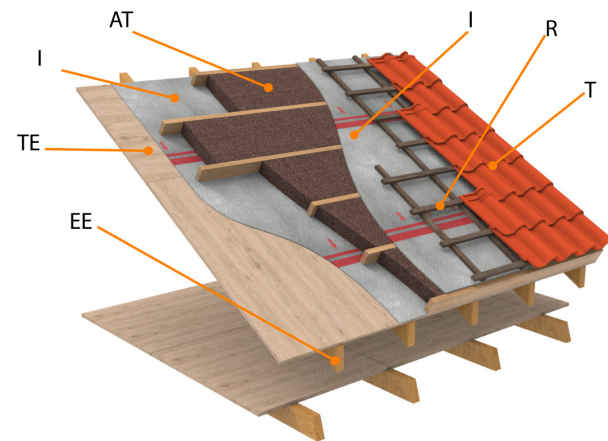
Cubierta inclinada - Forjado inclinado



T: tejado
R: rastrel
PM: panel modular preformado
AT: aislante, ICB
SR: soporte resistente

Forjado inclinado. No ventilada. Con capa de protección

El tejado actúa como capa de protección de diversos materiales (teja, pizarra, placas). El soporte resistente define y forma la pendiente. La capa de protección se coloca sobre un soporte de rastreles sobre panel modular preformado.



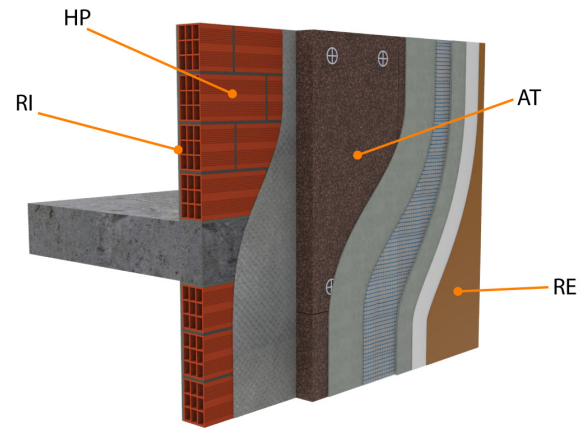
T: tejado
R: rastrel
I: capa de impermeabilización
AT: aislante, ICB
TE: tablero estructural
EE: estructura

Forjado horizontal. No ventilada. Con capa de protección

El tejado actúa como capa de protección de diversos materiales (teja, pizarra, placas). Capa de protección sobre soporte de rastreles de madera encima de perfil de diversos materiales que, además, define la pendiente.



Fachada-Aislamiento exterior



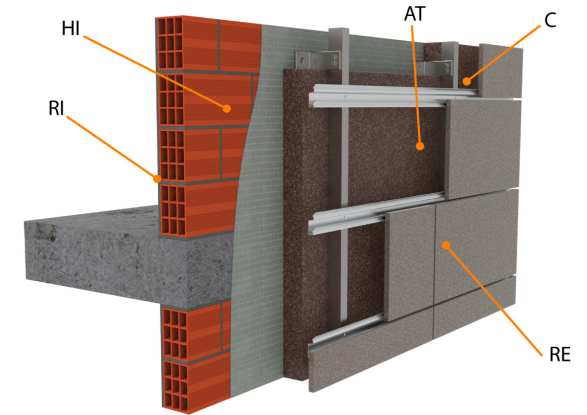
RE: revestimiento exterior
 AT: aislante, ICB
 HP: hoja principal
 RI: revestimiento interior

Fachada con revestimiento continuo. Sin cámara de aire. Aislamiento exterior

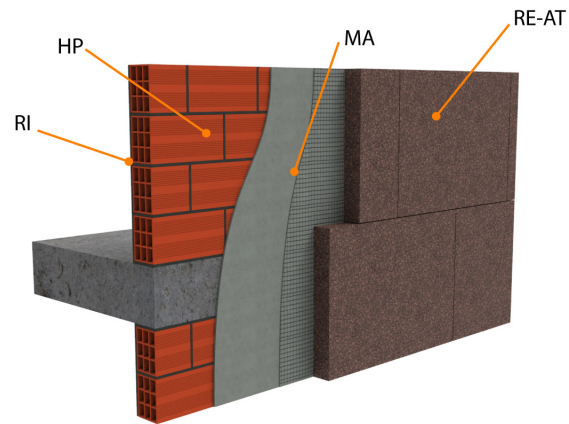
Hoja principal de ladrillo o bloque (cerámico u hormigón) con el aislante (sistema SATE) junto a revestimiento exterior continuo. Revestimiento interior por enlucido o alicatado.

Fachada ligera ventilada

Hoja principal de ladrillo o bloque (cerámico u hormigón) que consta de un soporte al que se le aplica el material aislante. Este conjunto se reviste mediante un revestimiento exterior discontinuo anclado al soporte mediante estructuras metálicas. Entre el aislante y el revestimiento exterior existe una cámara de aire para la ventilación del sistema.



RE: revestimiento exterior
 C: cámara de aire ventilada
 AT: aislante, ICB
 HI: hoja interior
 RI: revestimiento interior



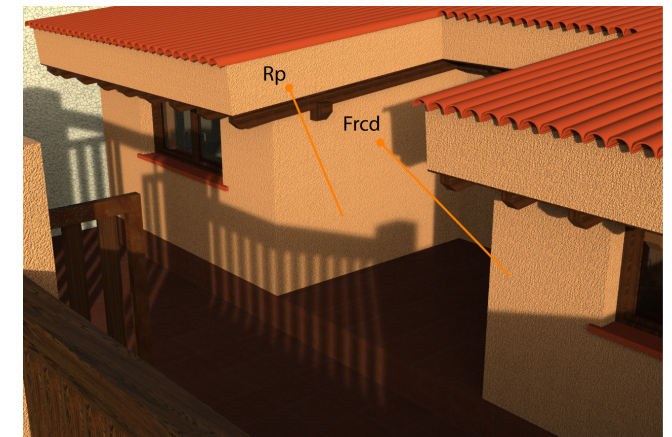
RE-AT: revestimiento exterior, aislante, ICB
 MA: material de agarre
 HP: hoja principal
 RI: revestimiento interior

Fachada con revestimiento discontinuo. Aislante exterior

Hoja principal de ladrillo o bloque (cerámico u hormigón) en la que el aislante funciona como revestimiento exterior. Revestimiento interior por enlucido o alicatado.

Fachada con revestimiento continuo o discontinuo

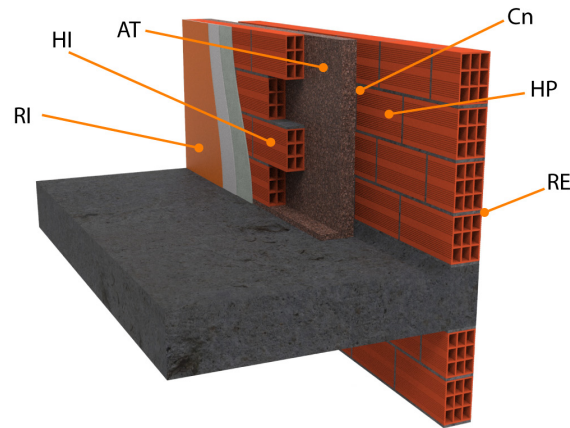
Elemento constructivo al que, una vez saneado o levantado, se le aplica una capa continua o discontinua de corcho proyectado para aumentar su impermeabilidad y aislamiento térmico.



Frcd: fachada de fábrica con revestimiento continuo o discontinuo
 Rp: revestimiento, corcho proyectado



Fachada-Aislamiento interior

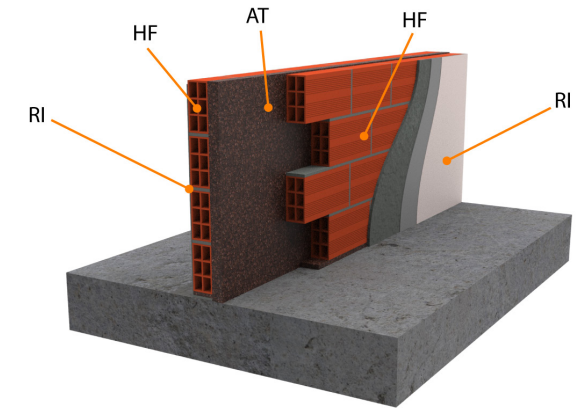


RE: revestimiento exterior
HP: hoja principal de ladrillo cerámico
Cn: cámara de aire no ventilada
AT: aislante, ICB
HI: hoja interior
RI: revestimiento interior

Fachada con revestimiento. Cámara de aire no ventilada. Aislamiento interior

Cara externa con ladrillos o bloques (cerámico u hormigón). La cara interior consiste en una hoja de ladrillo, bloque de hormigón o placa de yeso laminado, con un revestimiento interior con el aislante en el interior.

Particiones interiores verticales



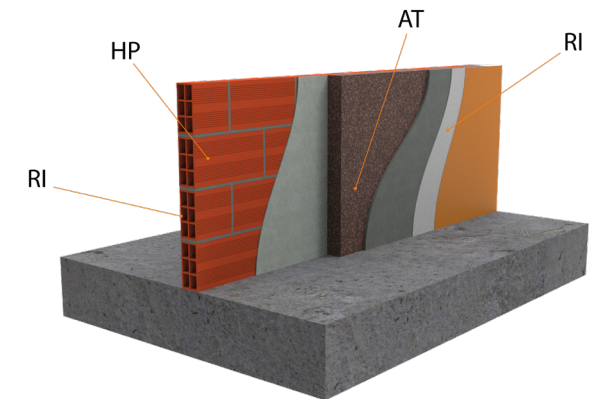
RI: revestimiento interior
HF: hoja de fábrica
AT: aislante, ICB o regranulado

Partición interior con apoyo directo. Elemento base de dos hojas

Elemento constructivo formado por dos hojas de fábrica (ladrillo cerámico o bloque de hormigón), junto con un revestimiento interior que puede ser alicatado o enlucido, y una capa aislante intermedia.

Partición interior con apoyo directo. Elemento base de una hoja

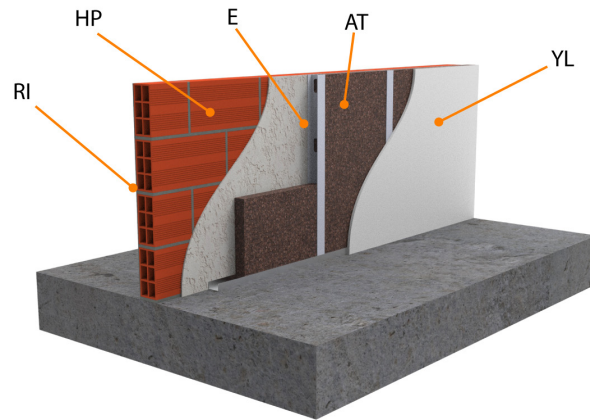
Hoja principal de fábrica (ladrillos cerámicos o bloque de hormigón) en la que el material aislante está junto a un revestimiento interior. El revestimiento interior está formado por un enlucido o alicatado.



RI: revestimiento interior
HP: hoja principal
AT: aislante, ICB



Particiones interiores horizontales



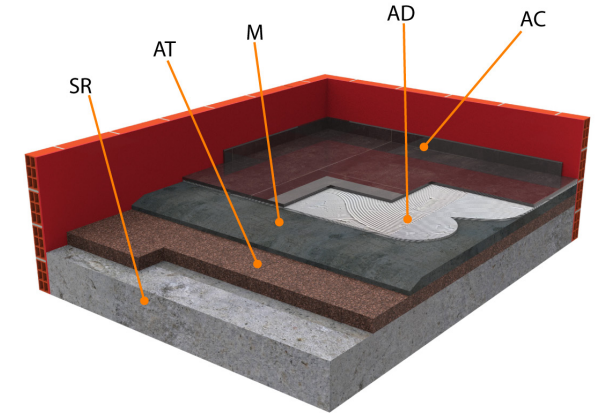
Partición interior con apoyo directo. Trasdosados

Hoja principal de fábrica (ladrillo cerámico o bloque de hormigón) sobre la que se dispone una estructura autoportante formada por un aislante y una placa de yeso laminado.

RI: revestimiento interior
HP: hoja principal
E: enfoscado en cámara
AT: aislante, ICB
YL: placa yeso

Suelos no flotantes

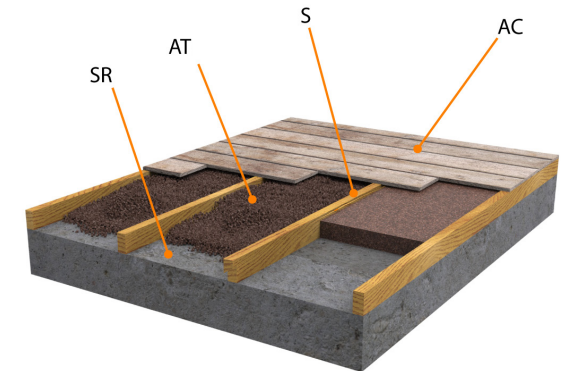
Elemento constructivo que posee un acabado que puede ser de diversos tipos (cerámico, piedra, terrazo) y se coloca sobre una capa de material de agarre (adhesivo) y nivelación (mortero). A continuación, se inserta una capa de aislante térmico sobre el soporte resistente.



AC: acabado
AD: adhesivo
M: capa de mortero
AT: aislante, ICB
SR: soporte resistente

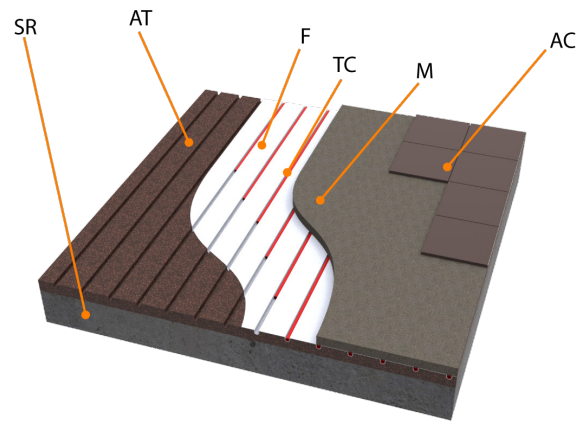
Suelos flotantes

Elemento constructivo que posee un acabado de diversos materiales (madera, laminados, etc.) que se fija sobre unos rastreles de madera. Debajo se ubica el aislante térmico y de ruidos de impacto sobre el soporte resistente.



AC: acabado
S: soporte de acabado
AT: aislante, ICB o regranulado
SR: soporte resistente





Sistema de suelo radiante - refrescante

Aislamiento térmico de suelos radiantes-refrescantes de tubos de agua, con aglomerado expandido de corcho que favorece el aislamiento acústico.

AC: acabado
 M: capa de mortero de regularización
 TC: tubo de agua
 F: chapa reflectante o film retráctil
 AT: aislante, ICB
 SR: soporte resistente

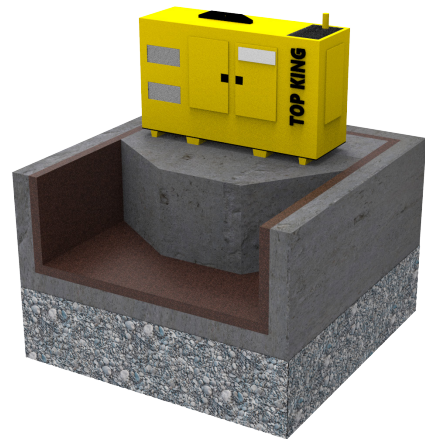


Tipos de aplicaciones ICB como aislante acústico

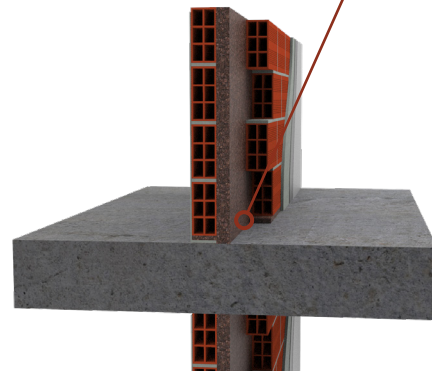
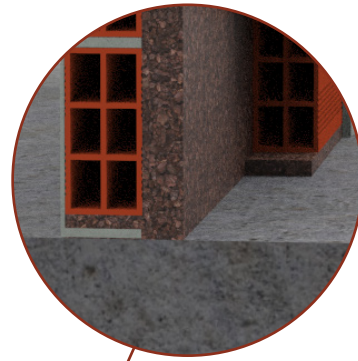
Puede ser utilizado en techos, suelos y paredes como aislante de ruidos aéreos y de percusión.



Aislamiento antivibracional



Aislamiento antivibracional de equipos industriales



Discontinuidad estructural de paredes



Juntas de dilatación

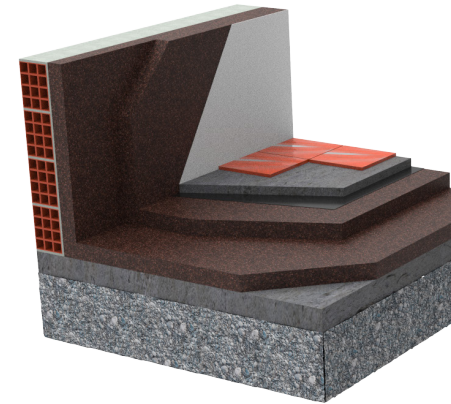
Otras aplicaciones



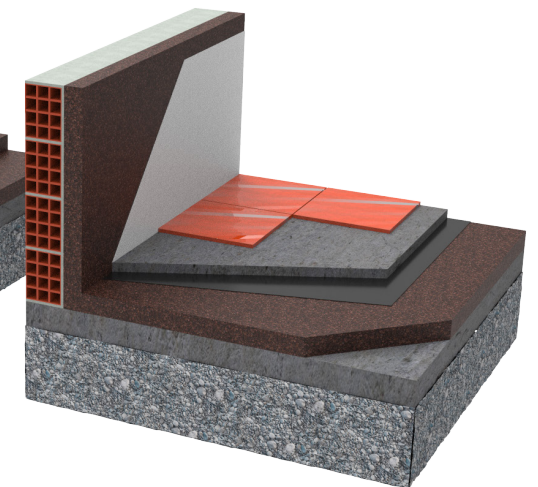
Incorporación al hormigón



Aislamiento sección de tubería



Aislamiento cámara de congelación



Aislamiento cámara de conservación



ICB Isocor

A continuación, se incluye la información del aglomerado expandido de corcho (ICB) fabricado por la empresa portuguesa **Sofalca**, bajo la marca **Isocor**.

Productos ICB - Ficha técnica	
Densidad (kg/m ³)	100 a 120
Coefficiente conductividad térmica (W/m·K)	0,04
Difusión térmica (m ² ·s)	1,4·10 ⁻⁷ a 1,9·10 ⁻⁷
Tensión de rotura a la tracción (Kgf/cm ²)	1,4 a 2,0
Permeabilidad al vapor (ng/Pa·s·m)	386
Resistencia a la difusión del vapor de agua (μ)	7 a 14
Tensión de compresión (kPa)	≥ 100
Temperatura de utilización (°C)	de -180 a +120
Dimensiones (mm)	1000x500
Espesores (mm)	10 a 300
Reacción al fuego	Euroclase E
Reacción al fuego - Sistema ETICS	B-s1, d0

Valores de aislamiento térmico		
Espesor (mm)	R (m ² ·k/W)	K (W/m ² ·k)
20	0,500	2,000
25	0,650	1,600
30	0,750	1,333
40	1,000	1,000
50	1,250	0,800
60	1,500	0,667
80	2,000	0,500
100	2,500	0,400

CERTIFICACIONES

Este producto tiene marcado CE bajo la norma EN 13170:2012, Declaración ambiental de producto (DAP) y COV: A+.

Regranulado Isocor

El regranulado Isocor, conocido bajo el nombre de regranulado de corcho expandido, tiene las siguientes características:

Regranulado de corcho expandido - Ficha técnica	
Densidad (kg/m ³)	65 a 80
Coefficiente conductividad térmica (W/m·K)	0,045 a 0,050
Granulometría (mm)	0-2, 2-4, 4-9, 3-15, 4-8, 4-10

CERTIFICACIONES

Este producto tiene certificado de Evaluación técnica europea (ETA): ETA 15/0300 basada en la norma EAD 040369-00-1201.



ICB Amorim

Amorim Cork Insulation, empresa portuguesa líder en el sector, ofrece este producto bajo el nombre de aglomerado de corcho expandido.

Características esenciales	Rendimientos	Resultado
Reacción al fuego	Reacción al fuego	Euroclase E
Resistencia térmica	Cond. Térmica	0,039 W/m·K
Permeabilidad al agua	Absorción de agua	WS
Permeabilidad al vapor	Trans. de vapor	MU20
Compresión	Comp. a 10% deformación	CS(10)100
Durabilidad de la reacción al fuego con calor, agentes meteorológicos, envejecimiento	Características de durabilidad	Satisfactorio
Durabilidad de la reacción al fuego con calor, agentes meteorológicos, envejecimiento/degradación	Resistencia térmica y conductividad térmica	Satisfactorio
	Característica de durabilidad	Satisfactorio
Resistencia tracción/flexión	R. a la tracción perpendicular	TR50
Durabilidad de la resistencia térmica al calor, intemperie, envejecimiento/degradación	Fluencia por compresión	CC(0,8/0,4/10)5
Calor específico	J/kg·°C	1560
Potencial Calentamiento Global (PAG)	kgCO ₂ equiv./1m ³ ICB	-1,98E+02
Total de recursos de energía primaria (TRR)	MJ, P.C.I./1m ³ ICB	6,79E+03

Resistencia térmica declarada EN 13170:2012+A1:2015										
Espesor (mm)	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65
R (m ² ·K/W)	0,5	0,6	0,75	0,9	1	1,15	1,25	1,4	1,5	1,65
Espesor (mm)	70	75	80	85	90	95	100	110	120	130
R (m ² ·K/W)	1,75	1,9	2,05	2,15	2,3	2,4	2,55	2,8	3,05	3,3
Espesor (mm)	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230
R (m ² ·K/W)	3,55	3,85	4,1	4,35	4,6	4,85	5,1	5,35	5,6	5,9
Espesor (mm)	240	250	260	270	280	290	300			
R (m ² ·K/W)	6,15	6,4	6,65	6,9	7,15	7,4	7,65			

CERTIFICACIONES

Este producto dispone, entre otros, de su correspondiente marcado CE según la norma EN 13170:2012, Declaración ambiental de producto (DAP) y COV: A+.

Regranulado Amorim Cork Insulation

El regranulado de aglomerado expandido de corcho de la marca **Amorim** tiene las siguientes características:

Regranulado de corcho expandido - Ficha técnica	
Densidad (kg/m ³)	60 a 70
Coefficiente conductividad térmica (W/m·K)	0,041
Granulometría (mm)	1-3,3-5,3-10,3-15
Reacción al fuego	Euroclase E

CERTIFICACIONES

Este producto dispone de Evaluación técnica europea (ETA): ETA 15/0300 basada en la norma EAD 040369-00-1201.



Corcho proyectado VIPEQ®

La empresa navarra **Vipeq Hispania 2008 SL**, fabricantes y distribuidores de materiales naturales para el aislamiento térmico, acústico e impermeabilización de edificios, dispone de una gran gama de productos desarrollados tanto para la rehabilitación de viviendas como para la edificación de obra nueva.

Cuenta con una gran variedad de productos que difieren entre sí por su granulometría, acabado en superficie, color, etc. Los más destacados son los siguientes:

	VIPEQ® F08	VIPEQ® 09	VIPEQ® 10
Textura acabado	Rugoso	Fino	Rugoso/Fino
Aspecto	Pastoso	Pastoso	Pastoso
Densidad (g/cm ³)	0,5 - 0,7	0,5 - 0,7	0,5 - 0,7
Granulometría (mm)	0,5 - 0,8	0,4 - 0,5	0,5 - 0,8/0,4 - 0,5
Reacción al fuego	Bsd02	Bsd02	Bsd02
UNE EN 13501:2002	Broof (t1)	Broof (t1)	Broof (t1)
Cond. térmica (W/m·K)	0,058 (10°C)	-	-
UNE EN 12667:2002			
Espesor total (mm)	3 (2 capas)	1,5 - 2 (2 capas)	-
Rendimiento (kg/m ²)	1,8 - 2	1,3 - 1,5	-

CERTIFICACIONES

El revestimiento de corcho Vipeq® no cuenta con marcado CE, pero dispone de ensayos y certificaciones ENAC acerca de sus múltiples propiedades como: reacción al fuego Bsd02, conductividad térmica, flujo de calor, etc.

Corcho proyectado SUBERLEV

Aislamientos **Suberlev SL**, situada en Castellón, es una empresa dedicada a la creación, fabricación y comercialización de materiales revolucionarios en el sector de la construcción.

Entre su gama de productos de corcho proyectado cabe destacar: Corcho natural proyectado cubiertas y fachadas, Corcho natural proyectado fino fachadas e interiores, Suber-Paint y Masilla térmica.

Corcho proyectado cubierta-fachada	
Especificaciones	
Aspecto	Pasta
Granulometría	0,4 - 0,9 mm
Densidad	0,73 kg/l ± 8%
Dilatación consentida	55 - 65% de su espesor

Características	Resultados	Norma
Cond. térmica	0,059 W/m·K	EN 12667
Flujo de calor	Disminución 69,15%	
Permeabilidad vapor de agua	Clase I: permeable	EN 1504-2
Permeabilidad agua líquida	0,05 kg/(m ² ·h ^{0,5})	UNE-EN 1062-3
Adhesión por tracción directa	0,9 Mpa	UNE-EN 1542
Absorción acústica	Tipo E	UNE-EN ISO 354
Resis. deslizamiento	Clase 3: adecuado	UNE-ENV 12633
Resis. fuego	Euroclase B-s1-d0	UNE-EN 13501-1+A1



Corcho proyectado fino fachada-interior	
Especificaciones	
Aspecto	Pasta
Granulometría	0,1 - 0,4 mm
Densidad	0,80 kg/l ± 8%
Dilatación consentida	24 - 46% de su espesor

Características	Resultados	Norma
Cond. térmica	0,059 W/m·K	EN 12667
Flujo de calor	Disminución 69,15%	
Permeabilidad vapor de agua	Clase I: permeable	EN 1504-2
Permeabilidad agua líquida	0,05 kg/(m ² ·h ^{0,5})	UNE-EN 1062-3
Adhesión por tracción directa	0,9 Mpa	UNE-EN 1542
Absorción acústica	Tipo E	UNE-EN ISO 354
Resis. deslizamiento	Clase 3: adecuado	UNE-ENV 12633
Resis. fuego	Euroclase B-s1-d0	UNE-EN 13501-1+A1

Masilla térmica	
Especificaciones	
Color	Corcho natural
Aspecto	Pasta
Densidad	1,06 kg/l ± 5%
Ph	7,8 ± 1

Características	Resultados	Norma
Cond. Térmica	0,059 W/m·K	EN 12667
Permeabilidad vapor de agua	Clase I: permeable	EN 1504-2
Permeabilidad agua líquida	0,006 kg/(m ² ·h ^{0,5})	UNE-EN 1062-3
Adhesión por tracción directa	1,0 Mpa	UNE-EN 1542

Suber-Paint	
Especificaciones	
Color	Blanco roto
Aspecto	Arenoso
Densidad	1,1 kg/l ± 5%
COV	0,15 g/L (cat. A/C) 40 g/L

Características	Resultados	Norma
Flujo de calor	Disminución 56%	
Permeabilidad vapor de agua	Clase I: permeable	EN 1504-2
Permeabilidad agua líquida	0,00 kg/(m ² ·h ^{0,5})	UNE-EN 1062-3
Adhesión por tracción directa	1,4 Mpa	UNE-EN 1542

CERTIFICACIONES

Todos los productos anteriormente citados disponen de su correspondiente marcado CE, bajo la norma UNE-EN 1504-2.



Corcho proyectado DECOPROYEC

Decoproyec Subertres SL, empresa situada en Albacete, fabrica y vende corcho proyectado bajo el nombre **DECOPROYEC**, cuyas características se desarrollan a continuación.

Características	Resultados	Norma
Permeabilidad vapor de agua	Clase I: permeable	UNE-EN ISO 7783
Permeabilidad agua líquida	0,21 kg/(m ² ·h ^{0,5})	UNE-EN 1062-3
Adhesión por tracción directa	0,65 Mpa	UNE-EN 1542
Reacción fuego	Incombustible	UNE-EN ISO 4589-2
Peso específico	0,5 - 0,7 g/cm ³	
Resis. tracción	0,26 Mpa	UNE-EN ISO 527-4
Elongación rotura	34,60%	
Cond. térmica	0,058 W/m·K	
Volumen y densidad aparente	0,262 kg/dm ³	

CERTIFICACIONES

El corcho proyectado DECOPROYEC no cuenta con marcado CE, pero todas sus características técnicas disponen de los pertinentes ensayos que ratifican dichos valores.



Fibras naturales



Introducción

Las fibras naturales son todas aquellas presentes en el medio natural, y que por tanto no han sido fabricadas por el ser humano. Pueden clasificarse según su procedencia, ya sea vegetal, animal o mineral.

Se consideran fibras de origen animal materiales como la lana, el pelo o la seda. Fibras minerales son, por ejemplo, el asbesto, que está compuesto por silicatos de sodio, magnesio, hierro o calcio.

Las vegetales son aquellas obtenidas de las plantas, ya sea de los tallos (yute, lino, cáñamo, kenaf), hojas (abacá, piña, sisal), frutos o semillas (coco, algodón). Son también fuentes de fibra la madera o la paja de cereal. Por último, están las plantas herbáceas como la hierba de elefante (*Pennisetum purpureum*), el pasto varilla (*Panicum virgatum*) o el esparto (*Macrochloa tenacissima* L.), este último usado sobre todo en el suroeste peninsular desde el Neolítico (Martínez Pino & Aroca Martín, 2018; Ramamoorthy *et al.*, 2015).

Esta parte del manual se centra en las fibras vegetales procedentes

del cultivo de cáñamo y kenaf. En el caso del kenaf, la denominada “fibra basta” o “fibra larga” se extrae de la corteza, mientras que del núcleo o caña se obtiene la “agramiza”, constituida por una fibra de menor longitud. En el caso del cáñamo, para denominar el núcleo se suele usar el término “cañamiza”.

Estas fibras vegetales suponen una materia prima de fácil acceso, siendo este el motivo por el cual se han utilizado desde tiempos ancestrales como materia prima en construcción, para la fabricación de cordelería o tejidos que requieran de una elevada resistencia.

En general, los productos basados en fibras vegetales requieren bajas cantidades de energía para su manufactura y conllevan una huella negativa de carbono.

Ha sido en los últimos años cuando se ha vuelto a poner en el foco a estos materiales debido eminentemente a cuestiones medioambientales o de salud, como la presencia de compuestos orgánicos volátiles (COV) en edificios o la existencia de micro o nano plásticos en alimentos.



Aislamiento de fibra de kenaf, <https://www.hempbuild.ie>

POR TODO ELLO, LAS POLÍTICAS EUROPEAS Y NACIONALES, LA INVESTIGACIÓN, LA INDUSTRIA Y LOS CONSUMIDORES EN GENERAL, ESTÁN CADA VEZ MÁS ORIENTADOS HACIA LA BÚSQUDA DE ALTERNATIVAS MÁS SALUDABLES Y BENEFICIOSAS PARA EL MEDIO AMBIENTE



Kenaf

La planta de kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.) es una malvácea, de la misma familia botánica del algodón. Se trata de una planta herbácea anual de día corto. Suele presentar un tallo largo y sin ramificaciones cuando crece en plantaciones de alta densidad y puede alcanzar una altura de entre 2,5 y 6 metros.

La planta de kenaf ha sido cultivada desde el año 4000 a. C. aproximadamente (Roseberg, 1996). Su origen proviene de África donde diversas variedades crecen libremente junto con la vegetación autóctona (Alexopoulou *et al.*, 2013).

El auge industrial del kenaf se produjo tras la Segunda Guerra Mundial, cuando se cortó el suministro de fibras a Estados Unidos y allí se comenzó a investigar y producir kenaf en masa para abastecer a la nación (Alexopoulou *et al.*, 2013). Producto de esas investigaciones, se obtuvieron variedades de alto rendimiento resistentes a la antracnosis, maquinaria de recolección y prácticas agronómicas (Webber III *et al.*, 2002). Su cultivo está muy extendido por el mundo: EEUU, Sudán, Egipto, Australia y Brasil, pero se concentra especialmente en China, India, Tailandia, Bangladesh y Vietnam (FAO, 2003).

En España, entre los años 40 y 70 del siglo pasado se cultivó sobre todo en Extremadura, Andalucía y Levante, debido a la necesidad de obtener fibras para la fabricación de sacos y cuerdas. Varias empresas se asentaron en las Vegas Bajas del Guadiana impulsadas por los especiales beneficios decretados por el Gobierno ante la escasez de fibras textiles, pero la evolución de un mercado donde aparecieron fibras sintéticas más baratas, junto con la desaparición de los cultivos, provocó el cierre de estas empresas (Barciela López & López Ortiz, 1998; García Cienfuegos, 2017).

Posteriormente, a finales de los años 80 del siglo XX, la necesidad de nuevas materias primas celulósicas y las crecientes necesidades medioambientales hicieron que se volvieran a tener en consideración a estos cultivos como fuentes potenciales de suministro de fibras. Comenzaron entonces proyectos de investigación a nivel nacional liderados por el INIA (Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria) en España y a nivel europeo como EUROKENAF o FAIR - 1967 para extraer todo el potencial de este cultivo (R. Oliveros, R. Ponz, M. Manzanares, J.L Tenorio, 2000), con la participación del Centro de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de Extremadura (CICYTEX) en alguno de esos proyectos.



Plantación experimental de kenaf, La Orden-CICYTEX

Cáñamo

El cáñamo es una planta originaria de Asia central, desde donde se extendió a China; actualmente se cultiva en muchos países de clima templado (Mohanty *et al.*, 2005). Se trata de un cultivo anual de alto rendimiento industrial. Está presente en más de 30 países, siendo China, Corea del Norte y Canadá, por ese orden, los mayores productores. En Europa, la superficie cultivada ha crecido notablemente desde 2011, superando las 25.000 ha en 2015. Los mayores productores son Francia y a gran distancia, Holanda, Lituania, Italia y Alemania (Michael Carus, 2017).

En la península ibérica se ha cultivado tradicionalmente desde al menos la época medieval, aunque de un modo más localizado y orientado al consumo doméstico. A esta escala, se hizo popular en muchos lugares del país, e incluso ha dado nombre en algunos casos al propio pueblo donde se producía. Es este el caso de **Cañamero** (Cáceres) (Garrido Herrero, 2005; Ramos Rubio, 2018).

Entre las décadas finales del siglo XVIII y los últimos años del XIX fue cuando este cultivo tuvo gran importancia económica, sobre todo en la zona del Levante. Pero la incapacidad para competir con la calidad de la fibra italiana dio al traste con la industria cañera española (Garrido Herrero, 2005).

Debido a cuestiones regulatorias en cuanto a los componentes del cáñamo, de rentabilidad o por la aparición de nuevos materiales durante el siglo XX prácticamente se llegó a abandonar su cultivo.

Ha sido en los últimos años cuando se ha renovado el interés por el cáñamo, a través de proyectos de investigación centrados en esta planta, grupos operativos como FINAiCONST de Andalucía, o el polo del cáñamo, creado recientemente en Extremadura por CTAEX.

En general, se puede cultivar de manera eficiente debido a su buena resistencia a la sequía y a su facilidad de adaptación a una gran variedad de terrenos y latitudes, desde zonas más septentrionales hasta climas tropicales. En Europa se han documentado producciones de hasta 20 t/ha de biomasa seca (Amaducci & Gusovius, 2010; T.-O. Dénes *et al.*, 2019). Además, requiere mínimas cantidades de agroquímicos y es una muy buena opción como cultivo de rotación.

A diferencia de la marihuana, el **cáñamo industrial** (*Cannabis sativa* L.) es una variedad orientada a la producción industrial de fibras y con un reducido contenido en sustancias psicoactivas. Para que sea considerado así, debe presentar un nivel de Tetrahidrocannabinol (THC) inferior a 0,2% (Ministerio de Agricultura y Pesca, 2017). No obstante, unas recientes enmiendas sobre la Política Agraria Comunitaria (PAC) han hecho elevar este valor hasta el 0,3%. Esta nueva PAC entrará en vigor en 2023 (Parlamento Europeo, 2020a, 2020b).

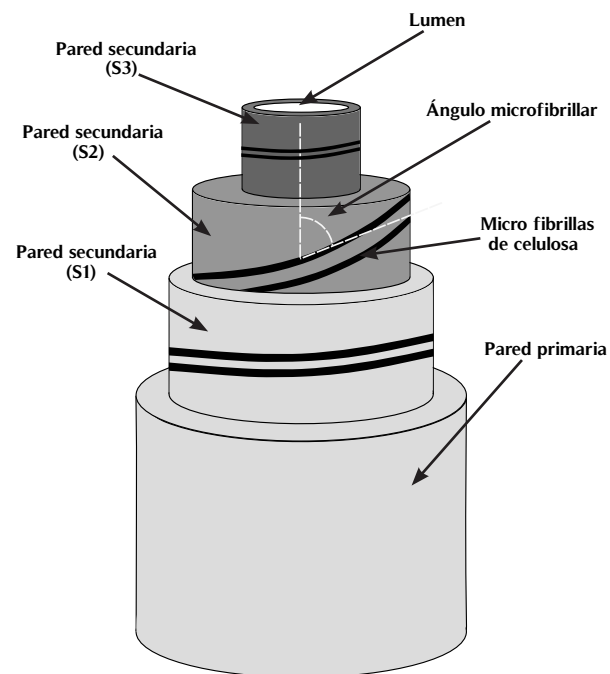


Fibras vegetales, kenaf y cáñamo

Características de las fibras vegetales

ESTRUCTURA

A nivel celular, las fibras vegetales están conformadas por haces de células muertas alargadas, de paredes gruesas en forma de microestructuras tubulares (Amaducci & Gusovius, 2010). La fibra elemental, por tanto, consiste en una única célula, hueca y en forma de tubo. Sus dimensiones típicas son de 1 a 50 mm de longitud y de entre 10 a 50 µm de grosor. La pared celular presenta dos capas principales: una capa primaria y una capa secundaria que se divide a su vez en tres partes (S1, S2 y S3 en la imagen inferior desde el exterior al interior). Estas capas están compuestas eminentemente de celulosa, hemicelulosa y pectinas.



Partes de la pared celular de una fibra vegetal, La Orden-CICYTEX

"MIRA PROFUNDAMENTE LA
NATURALEZA Y ENTONCES
COMPRENDERÁS TODO MEJOR"

Albert Einstein

La **pared primaria**, que es la capa externa, es porosa y contiene casi todos los compuestos no celulósicos. De las características de esta capa dependen las propiedades de mojabilidad, de absorción de agua y otras propiedades útiles para su uso como fibra textil o en composites (Bismarck *et al.*, 2005).

La **pared secundaria** puede comprender el 80% del grosor total (Bismarck *et al.*, 2005). No obstante, tanto los valores dimensionales como las características de las paredes celulares dependerán de la especie vegetal.

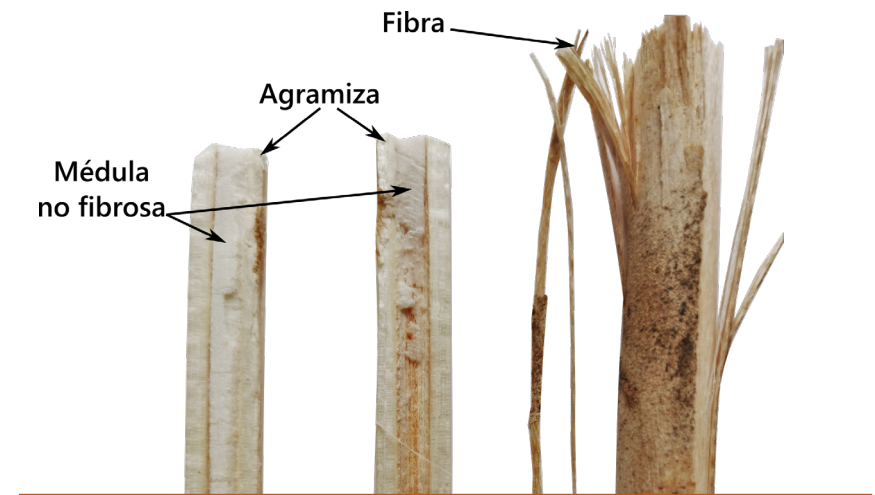
En esta pared secundaria se encuentran las microfibrillas de celulosa. Están incrustadas helicoidalmente en la matriz de lignina y hemicelulosa. Estas microfibrillas tienen un diámetro de unos 10 a 30 nm. La orientación de las microfibrillas en el interior de las paredes celulares varía de una especie a otra.





Kenaf

Tal y como se ha descrito previamente, del tallo se obtienen dos productos: la fibra de la corteza y la agramiza. Esta presenta elevada porosidad, unas características más leñosas y una fibra más corta. Debido a esto es posible encontrarse la denominación "fibra corta" para la agramiza del kenaf.



Partes del tallo de kenaf, La Orden-CICYTEX

La fibra constituye entre el 35-40% en masa de la planta en base seca y es la fibra de mayor calidad, mientras que el resto corresponde prácticamente en su totalidad a la agramiza (Alexopoulou *et al.*, 2013).

A su vez, el mayor componente de las fibras es la celulosa. Para la fibra de kenaf se han observado valores entre el 45% y el 63% (Alexopoulou *et al.*, 2013).



Cintas de fibra de kenaf, La Orden-CICYTEX

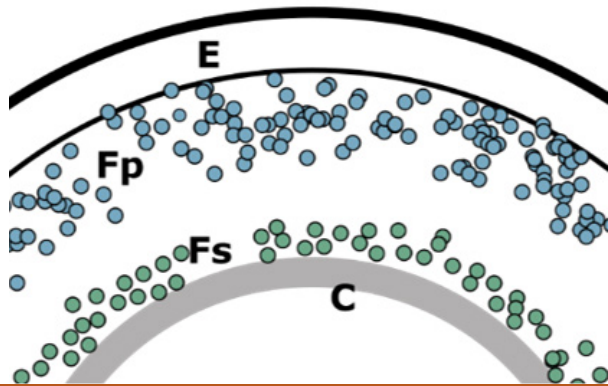


Agramiza de kenaf, La Orden-CICYTEX



Cáñamo

En el caso del cáñamo se distinguen dentro de la corteza dos tipos de fibras, una larga (o primaria) considerada de mayor calidad y una corta (o secundaria) de menor longitud que las primeras. La primaria se encuentra más alejada del núcleo.



Situación de las fibras en un corte transversal de cáñamo. Parte superior, epidermis (E). Fibras primarias (Fp) y secundarias (Fs) cerca del cambium (C), La Orden-CICYTEX

El núcleo constituye la agramiza del cáñamo o cañamiza. Se trata de un material también fibroso como la agramiza de kenaf, con similares propiedades y aplicaciones.



Cañamiza troceada, Jami *et al.*, 2019

La fibra de cáñamo es más larga que la del kenaf y con un mayor contenido en celulosa.

Tipo	Composición carbohidratos %			Lignina %
	Celulosa	Pectina	Hemicelulosa	
Kenaf, fibra	55	4	13	12 – 14
Kenaf, agramiza	40	7	19	19
Cáñamo, fibra	70	3	15	3
Cañamiza	40	3	25	25

Composición en carbohidratos de las fibras de kenaf y cáñamo, el resto son ceras y cenizas, extracto de J. J. Lips & E. G. van Dam, 2013

La agramiza, tanto de cáñamo como de kenaf, **es más rica en lignina** y menos en celulosa. Aun así, también es posible obtener pulpa de papel de este material, aunque ligeramente de inferior calidad que la resultante de la fibra. No obstante, la agramiza es muy interesante para la fabricación de materiales compuestos o productos derivados (Md. Tahir *et al.*, 2011).



TAMAÑO DE LAS FIBRAS

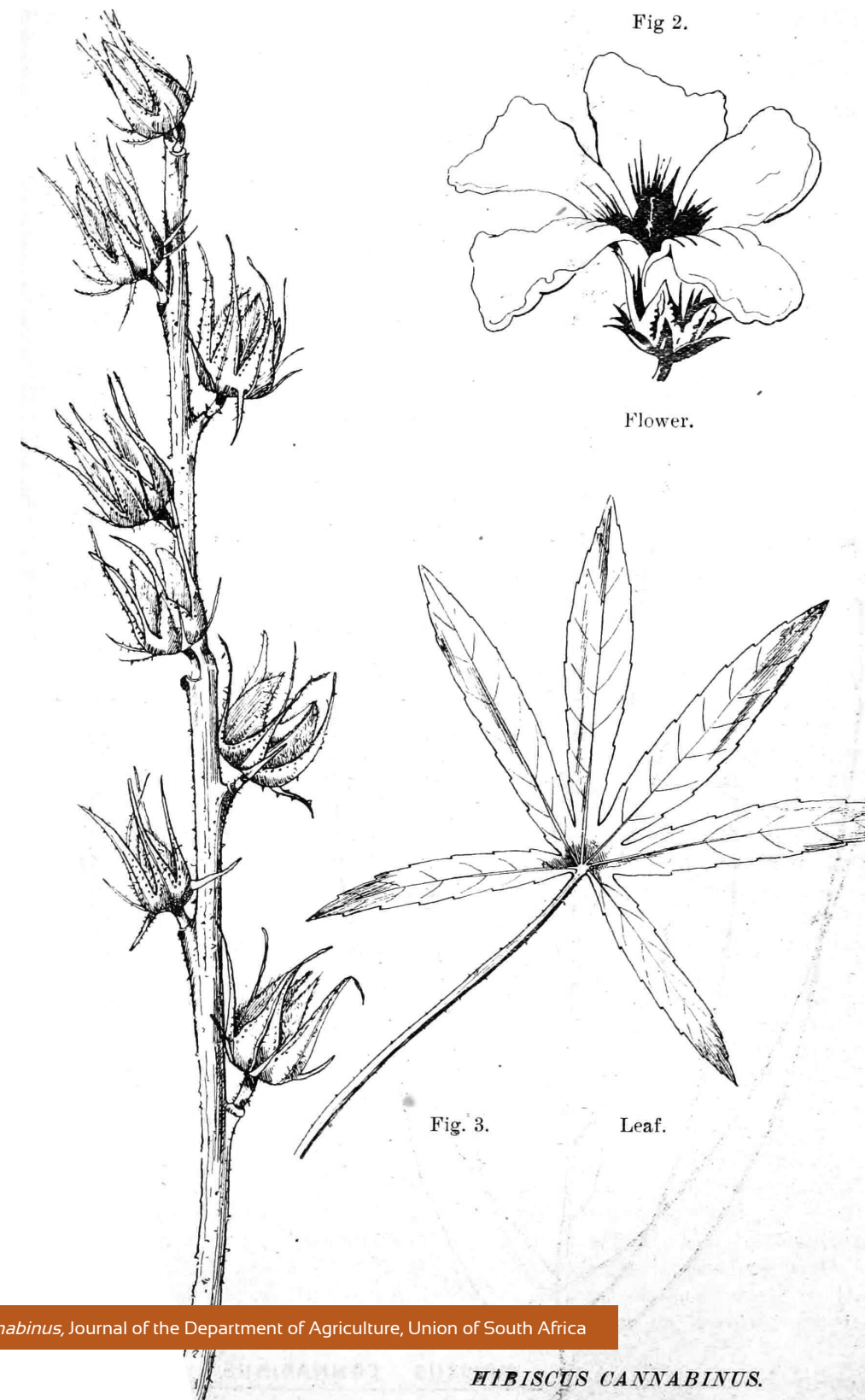
Se ha determinado la longitud (L) y diámetro (D) medios de la fibra de kenaf, siendo 2,5 mm y 17 μm respectivamente (Alexopoulou *et al.*, 2013). No obstante, existe variabilidad en la bibliografía hallándose valores entre los 2,32 - 2,90 mm de longitud y 4 - 35 μm de diámetro.

Para la **agramiza**, los resultados fueron 0,6 mm y 33 μm (Alexopoulou *et al.*, 2013; Seena *et al.*, 2005). La variabilidad en los datos puede derivarse de la variedad concreta de kenaf utilizado y del riego aplicado. Estos datos son importantes pues el grosor de pared está relacionado con la resistencia de la fibra. Y la relación de aspecto L/D es muy importante para aquellos usos donde se quiera reforzar una matriz cualquiera con fibras vegetales. De manera general la relación de aspecto para un buen refuerzo debe ser en torno a 100 (Toonen *et al.*, 2007).

En el caso del **cáñamo**, los haces de fibras pueden contener de 10 a 40 células y llegar a alcanzar la altura total de la planta (McPartland *et al.*, 2000). A pesar de la variabilidad debida a las cuestiones agronómicas, las fibras de cáñamo son considerablemente más largas que las de kenaf.

Tipo	Dimensiones				
	Haz	Fibra elemental		Pared celular	
	Longitud (cm)	Largo (mm)	Diámetro (μm)	Grosor (μm)	
Kenaf, fibra	150 - 350	2,5	17	147	4,2
Kenaf, agramiza	-	0,74	22,2	33	4,3
Cáñamo, fibra	150 - 250	35 - 40	15 - 50	800 - 2.333	5 - 14
				312 - 1.100	
Cañamiza		0,5 - 0,6	15 - 40	33 - 15	<2

Dimensiones de las fibras de kenaf y cáñamo. Adaptado de Alexopoulou *et al.*, 2013; Chernova *et al.*, 2018; J. J. Lips & E. G. van Dam, 2013; Sponner *et al.*, 2005



Hibiscus cannabinus, Journal of the Department of Agriculture, Union of South Africa

HIBISCUS CANNABINUS.



PROPIEDADES MECÁNICAS

Las fibras naturales presentan una tensión de rotura comparable a la del acero de alta resistencia (Munder *et al.*, 2005).

Según el tratamiento que se le aplique, se conseguirá un grado mayor o menor de separación de fibras. No obstante, la resistencia del haz en su conjunto es menor que las fibras celulares individuales (Bismarck *et al.*, 2005). Esto implica que la resistencia a la tracción es mayor cuanto mayor es el grado de finura (Toonen *et al.*, 2007).

Como se puede ver en la tabla, las fibras de kenaf y cáñamo presentan una elevada resistencia a la tracción. No obstante, el rango puede ser amplio, derivado de la heterogeneidad en las variedades y opciones de tratamiento para la extracción de las fibras. Debido a esto, para el kenaf se ha reportado un amplio rango de valores. En la tabla se muestra el valor más alto conocido.

En cuanto a la resistencia a la tracción del cáñamo, el dato mostrado en la tabla es un valor muy frecuente en bibliografía, no obstante hay referencias donde se alcanzan los 1.100 MPa (Pickering *et al.*, 2016).

Fibra	Propiedades mecánicas					
	Resistencia a la tracción MPa	Módulo de Young GPa	Elongación de rotura %	Densidad kg/m ³	Res. a la tracción específica kN·m/kg	Módulo de Young específico MN·m/kg
Kenaf	930	53	1,6	1.400	664	38
Cáñamo	920	70	1,7	1.520	605	46
Carbono	3950	238	1,4 – 1,8	1.770	2232	134
Vidrio	1956	78,51	2,5	2.550	767	31

Propiedades mecánicas de las fibras de kenaf y cáñamo frente a las de carbono y vidrio, Bismarck *et al.*, 2005; Fu *et al.*, 2000; Lee *et al.*, 2020; Ramamoorthy *et al.*, 2015

Es interesante remarcar que, a pesar de que las fibras de carbono o de vidrio presentan valores de resistencia aún mayores, la densidad de las fibras vegetales es menor. Esto es, las fibras vegetales y en particular las de cáñamo y kenaf presentan lo que se denomina una buena resistencia específica, siendo una buena alternativa a una fibra de vidrio genérica ya que aporta resistencia a la vez que ligereza.

LAS FIBRAS DE CÁÑAMO Y KENAF PRESENTAN
UNA BUENA RESISTENCIA ESPECÍFICA, SIENDO
UNA BUENA ALTERNATIVA A UNA FIBRA DE VIDRIO
GENÉRICA YA QUE APORTA RESISTENCIA A LA VEZ
QUE LIGEREZA



POROSIDAD, PROPIEDADES TÉRMICAS Y PROPIEDADES ACÚSTICAS

Porosidad

Los materiales absorbentes de sonido son ejemplos clásicos de atenuación pasiva. En ellos, uno de los aspectos más importantes es su estructura, ya sea fibrosa o porosa, de modo que se permita el paso del aire para que penetren las ondas de sonido y en su interior se disipe la energía acústica en forma de energía térmica (Bertolini *et al.*, 2019). Una disposición aleatoria de fibras entrecruzadas emula, a mayor escala, a una estructura porosa. De modo que los mecanismos de atenuación son, en general, similares (Taban *et al.*, 2020).

Se han estimado medidas de porosidad de fibra de kenaf, resultando entre un 86% y 90%. Se ha observado que los índices de tortuosidad aumentan con la densidad del material, consiguiendo además mejor respuesta a bajas frecuencias (Taban *et al.*, 2020). Para la fibra de cáñamo también es bastante alta: 93% (Santoni *et al.*, 2019), comparable a la del kenaf.

En el caso de la cañamiza, esta presenta una porosidad del 60% para agramiza pura. Si contiene impurezas de la corteza fibrosa, puede llegar al 76,6% (Jiang *et al.*, 2017).

No se conocen datos de porosimetría para la agramiza de kenaf.

Capacidad de atenuación acústica

Según Foret *et al.* (Foret *et al.*, 2010), por debajo de los 160 Hz, la contribución a la atenuación sonora se debe en mayor medida a la porosidad y esta se pierde con una alta compacidad. En el rango 160 - 1.000 Hz el mayor impacto es debido a la densidad del material de partida, y por encima de los 1.250 Hz, es el grosor el factor predominante en la absorción del sonido. Por tanto, materiales de fibra o agramiza de alta compacidad y grosor, serán los mejores atenuadores del sonido.

Capacidad de aislamiento térmico

Esta característica deriva intrínsecamente de la propia estructura hueca de la fibra. De este modo, las fibras de mayor diámetro interno o lumen presentan mayor potencial como aislante térmico. Es una característica que no se da en las fibras artificiales (Evans & Suddell, 2005; Takagi, 2019). Las fibras de

kenaf presentan un lumen entre 10,17 μm y 11,9 μm de diámetro, similar a las del cáñamo. Solo es superado por el algodón o la fibra de plátano. Por su parte, el lumen de la agramiza de kenaf es algo mayor: 13,2 μm - 17,37 μm (AL- Oqla & Omari, 2017; J. J. Lips & E. G. van Dam, 2013; Jaafar *et al.*, 2016; Schäfer & Honermeier, 2006). No se han encontrado datos para la cañamiza.

También es importante la disposición entrecruzada de la fibra debido a que la conductividad del aire en los huecos es menor que la del material sólido (Bertolini *et al.*, 2019). En este sentido, cabe esperar que una mayor densidad de material se transforme en una menor capacidad aislante al entrar más fibras en contacto (Jones & Brischke, 2017).



Fibra de kenaf, Elke Wetzig CC-BY-SA-3.0



Industria del kenaf y del cáñamo

Debido a que son plantas cuyo aprovechamiento se inició en la prehistoria, el cáñamo, kenaf y otras fuentes de fibra vegetal han sido ancestrales amigos de las sucesivas civilizaciones, que se han aprovechado de sus numerosas propiedades. Se podría afirmar que la sociedad del siglo XXI no descubre nada realmente nuevo en este ámbito. Más bien es una vuelta a los materiales tradicionales obligada por las circunstancias, solo que desde una visión tecnológica más avanzada.

EL PRODUCTO PRINCIPAL DEL TALLO SON LAS FIBRAS, CON LAS QUE SE PUEDE FABRICAR PAPEL, TABLEROS Y MATERIALES ABSORBENTES. TAMBIÉN PUEDEN USARSE EN CONSTRUCCIÓN, YA SEA COMO REFUERZO EN HORMIGÓN O COMO AISLANTE

KENAF

Desde un punto de vista industrial es aprovechable prácticamente toda la planta.

Las semillas presentan un buen rendimiento en producción de aceite pues contienen hasta un 20% (Alexopoulou *et al.*, 2013). Es rico en ácidos grasos omega-3, fitosteroles y vitamina E (Nyam *et al.*, 2009). También es fuente fosfolípidos para industrias basadas en biomoléculas (Mohamed *et al.*, 1995).

En cuanto a las hojas, tienen un 30% de proteínas en base seca, por ello resulta interesante su uso en alimentación animal, si bien ya en algunos países es consumido comúnmente por la población como una simple verdura (Alexopoulou *et al.*, 2013).

A pesar de todo lo anterior, actualmente la Unión Europea considera al kenaf como un cultivo no alimentario y de alta producción de biomasa.

En España, se ha demostrado su viabilidad como cultivo alternativo en zonas del sur como las vegas del Guadiana (de Andres *et al.*, 2004).



CÁÑAMO

El catálogo de productos del cáñamo es más amplio y desarrollado que el del kenaf. Este último está presente en el mercado casi exclusivamente como material aislante de fibras, mientras que en el caso del cáñamo ya es posible adquirir numerosos productos cosméticos y alimenticios derivados del mismo.

A pesar de que la cañamiza y las hojas también son de provecho, los resultados del cultivo tradicional del cáñamo han sido principalmente tres: fibras, semillas y sustancias psicoactivas (Amaducci & Gusovius, 2010).



Semillas

Particularmente ricas en aceite (30%), proteínas (25%) e importantes cantidades de fibra, vitaminas y minerales. El aceite tiene un 80% de ácidos grasos poliinsaturados, es rico en omega-6 y omega-3. La Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición (AESAN) considera un alimento seguro a las semillas procedentes de variedades con contenido en THC por debajo del 0,2% (Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición, 2020).



Hojas

En las hojas se encuentran las sustancias psicoactivas como los cannabinoides. Además, existen terpenos, flavonoides, polifenoles, magnesio, calcio, fósforo y presenta nueve aminoácidos esenciales incluyendo lisina y arginina. También contienen altas cantidades de fibra. Su consumo lleva presente mucho tiempo en Europa. En algunos países como Suecia o Polonia existen antiguas recetas con cáñamo como ingrediente vegetal (Mirizzi & Wilson, 2020).



Tallo

En cuanto al tallo, la fibra ha tenido tradicionalmente un empleo en la fabricación de útiles donde sea importante una elevada resistencia, en textiles o en la fabricación de papel.

Aspectos medioambientales

De entrada, partimos ya de especies de alta capacidad de secuestro de CO₂. El cáñamo, al tener una alta producción de biomasa en escasamente 4 o 5 meses, es capaz de absorber 1,6 toneladas de CO₂ por cada tonelada de cáñamo cosechado (Mirizzi & Wilson, 2020). Por su parte el kenaf le sigue de cerca pues en un tiempo similar es capaz de capturar 1,5 toneladas de CO₂ por cada tonelada de kenaf (Bismarck *et al.*, 2005).

Este es el principal motivo por el cual los productos fabricados con fibras vegetales son favorables en términos de emisiones de CO₂ frente a aquellos contruidos con fibras minerales. No obstante, el impacto ambiental de un producto cualquiera de kenaf o cáñamo, como un panel aislante, depende en gran medida de aspectos agronómicos como el uso de abonos minerales o el riego durante el cultivo de la planta. Por tanto, el impacto será menor en aquellas regiones con climas donde la cantidad de precipitación sea cercana a la que necesita este cultivo (Bourmaud *et al.*, 2018). Diremos que cuanto menos energía se emplee en la fabricación de la fibra o del producto derivado, este exhibe una menor **energía embebida**, un parámetro a tener en cuenta en la construcción de edificios sostenibles.





HUELLA DE CARBONO. FIBRAS

Las fibras a granel de cáñamo (no del producto acabado), se estiman en 835 kg CO_{2-eq}/t fibra. Pudiendo rebajarse a 682 kg CO_{2-eq}/t fibra si se emplean fertilizantes orgánicos. Valores similares se obtienen para otras fibras como kenaf 644 kg CO_{2-eq}/t fibra o yute 640 kg CO_{2-eq}/t fibra. Comparativamente son unas tres veces inferiores a la producción de una tonelada de fibra de vidrio: 1,7-2,2 kg CO_{2-eq}/t fibra (Barth, 2015).

Una conclusión directa es que la cantidad de gases de efecto invernadero emitida por tonelada de producto es menor que la absorbida. Las fibras vegetales son, por tanto, **un material con huella negativa de carbono**.

HUELLA DE CARBONO. PANELES AISLANTES

Un análisis de ciclo de vida del producto IsolKenaf, descrito más adelante como solución para aislamiento térmico y acústico, da como resultado una huella de carbono de 1.252 g CO₂/kg de producto. El 60% se debe a la inclusión de poliéster como adhesivo. Por otro lado, durante el cultivo de la planta se absorben 1.550 g CO₂/kg de producto. De este modo, el producto acabado aún conserva la huella negativa de carbono con la posibilidad de eludir aún más emisiones, al utilizarse como aislante térmico en edificios (Fernando, 2013).

Este panel de kenaf, además, cuenta con una energía embebida de 31,9 MJ/kg, menor que la lana de roca (42,8 MJ/kg), el poliuretano expandido (80,3 MJ/kg), o que un panel similar de fibras sintéticas recicladas (Avella, 2007).

En cuanto al cáñamo, considerando un panel aislante de fibra de cáñamo y una unidad funcional (UF: 1 m² de aislamiento de R = 5 m² K/W), la lana de vidrio presenta un potencial de efecto invernadero de 12 kg CO_{2-eq}, mientras que el de un panel de lana de cáñamo es -1 kg CO_{2-eq}. La cañamiza a granel para relleno de huecos se sitúa en -49 kg CO_{2-eq} (Marín, 2011).

A pesar de que estos valores pueden ser levemente alterados por las condiciones de cultivo, los mismos números dan buena cuenta de que aún con pequeñas variaciones, son claros los beneficios medioambientales que presenta el uso de aislantes con fibras naturales.

Aplicaciones de las fibras

ADSORBENTE

Se ha estudiado la capacidad de remoción de metales de las fibras de kenaf en aguas residuales industriales (Razak *et al.*, 2020).

El cáñamo también presenta esta propiedad. Tanto la fibra como la cañamiza pueden retener metales procedentes de aguas residuales. No obstante, es la fibra la que más atención recoge.

MATERIALES COMPUESTOS

Es posible fabricar materiales de base polimérica con refuerzo de fibras de kenaf o cáñamo. Distintos fabricantes de vehículos incorporan paneles de plástico reforzado con fibras para el interior de los vehículos (Earth Island Institute, 2000). De esta manera se consigue reducir el coste del vehículo, disminuir el peso - con la consiguiente reducción en el gasto energético - y mejorar la seguridad ante una colisión al reducirse el astillado de los materiales. También hay que remarcar la mejora en el confort acústico y térmico (Evans & Suddell, 2005; Sreenivas *et al.*, 2020).



TABLEROS PARTICULADOS

La agramiza de kenaf resulta de gran interés en la fabricación de paneles particulados de baja densidad. Se han desarrollado técnicas para fabricar estos paneles exclusivamente con agramiza de kenaf o cáñamo y sin aditivos (Crini *et al.*, 2020; Xu *et al.*, 2006).



Tablero particulado de cáñamo, Nunes *et al.*, 2017

FABRICACIÓN DE PAPEL

Ambas especies, cáñamo y kenaf, presentan gran proporción de celulosa, lo que las convierte en buenas candidatas para producir papel.

Para el kenaf hay procedimientos de aprovechamiento completo del tallo, como el método Kraft en continuo, que produce altos rendimientos de pulpa de buena calidad. Se obtiene un producto de características similares a aquellos provenientes de maderas duras y fácilmente blanqueables (J. J. Lips & E. G. van Dam, 2013).

En lo referente al cáñamo, la producción de papel se lleva haciendo desde hace cientos de años. En aquella época ese papel de cáñamo era más utilizado que otros ya que aguantaba mejor la descomposición, era más resistente y con menor tendencia a amarillear.

Obtención de fibras

Para la obtención de la fibra tratada o “fibra basta” de tallos como el lino, kenaf o cáñamo, se ha de separar la corteza, que es la que contiene la fibra de calidad. De esta fibra se deben eliminar las pectinas, hemicelulosa, ceras y lignina que unen los haces de fibras dejando solamente la fibra libre.

El tratamiento de separación de fibras puede llevarse a cabo mediante diferentes procedimientos. Dependiendo del método a seguir y las condiciones del procesado, se conseguirá una fibra de mayor o menor calidad.

El nivel de separación de las fibras es lo que en la industria textil se denomina grado de finura. Es un parámetro intrínsecamente dependiente de la técnica de separación utilizada y procesado de la fibra (Dodd & Akin, 2005).

El proceso de separación es el denominado “enriado” (en inglés retting) o “desgomado” (degumming). En ocasiones, se diferencian ambos términos, siendo el primero una técnica de separación de la fibra eminentemente biológica, quedando el desgomado como un simple proceso separativo de

las sustancias no celulósicas o “gomas”, propiciado por otro tipo de mecanismos (Chiliveri *et al.*, 2016). A pesar de esto, comúnmente se utilizan ambos términos para denominar al tratamiento general de obtención de las fibras a partir de los tallos, siendo “enriado” el vocablo más habitual.

Es posible describir hasta cinco tipos de enriado: por rocío, enriado en agua, enzimático, mecánico y químico. Pero atendiendo al tipo de mecanismo predominante podríamos clasificarlos en: biológicos, mecánicos, físicos y químicos.



Procesos biológicos. Método tradicional

Los procesos biológicos para la separación de la fibra se basan en la actividad de microorganismos sobre los tallos cosechados. En este grupo encontramos los métodos tradicionales que son el enriado por rocío y el enriado en agua.

ENRIADO POR ROCÍO

Habitual en lugares donde hay escasez de agua. Los tallos cosechados se dejan reposar a la intemperie. Es importante que por la noche se produzca un intenso rocío y que de día se alcancen elevadas temperaturas. Con la combinación de humedad y temperatura se desarrollan microorganismos que realizan una degradación eminentemente enzimática del material que rodea a las fibras. Es un proceso que depende en gran medida de que los hongos del suelo colonicen los tallos (Md. Tahir *et al.*, 2011). Dependiendo de las condiciones climáticas, el proceso puede durar de dos a seis semanas (Encyclopaedia Britannica, 2021). Es importante que no se exceda el tiempo adecuado para que no se produzca un “sobreenriado”, pues los microorganismos llegarían a degradar las fibrillas de celulosa al generar enzimas que atacan directamente a esta, mermando su calidad (Hoondal *et al.*, 2002). Para conseguir un enriado homogéneo se debe aplicar al menos un volteo a los tallos.

Mediante este método, se consiguen unas fibras algo bastas, oscurecidas y de inferior calidad que por otros métodos como el enriado en agua.



Retting in an Bangladeshi village, Afifa Afrin CC-BY-SA-4.0

ENRIADO EN AGUA

El enriado en agua es una técnica predominantemente fermentativa que se realiza sumergiendo los tallos en agua, donde se desarrollan las bacterias pectinolíticas en medio anaerobio (Md. Tahir *et al.*, 2011). El tratamiento puede llevarse a cabo en un período de entre una y dos semanas dependiendo de la temperatura y de si se han inoculado microorganismos, dando lugar a fibras de alta calidad. No obstante, se puede acelerar el tratamiento hasta los 3 o 5 días mediante un enriado en caliente, utilizando agua entre 28 y 40 °C (Bismarck *et al.*, 2005).

Es necesario renovar periódicamente el agua de proceso, y al consistir en un agua con cantidades importantes de sustancias disueltas, ha de ser tratada antes de desecharla. Dada la gran carga contaminante generada en el residuo acuoso, este método ha sido prohibido en algunos países (Bismarck *et al.*, 2005).



Tras el proceso de enriado, se han de separar las fibras de la corteza del núcleo leñoso. Siguiendo con el método tradicional, se procede a secar los tallos y a eliminar los posibles restos de semillas y hojas. Posteriormente se le aplica un tratamiento mecánico denominado

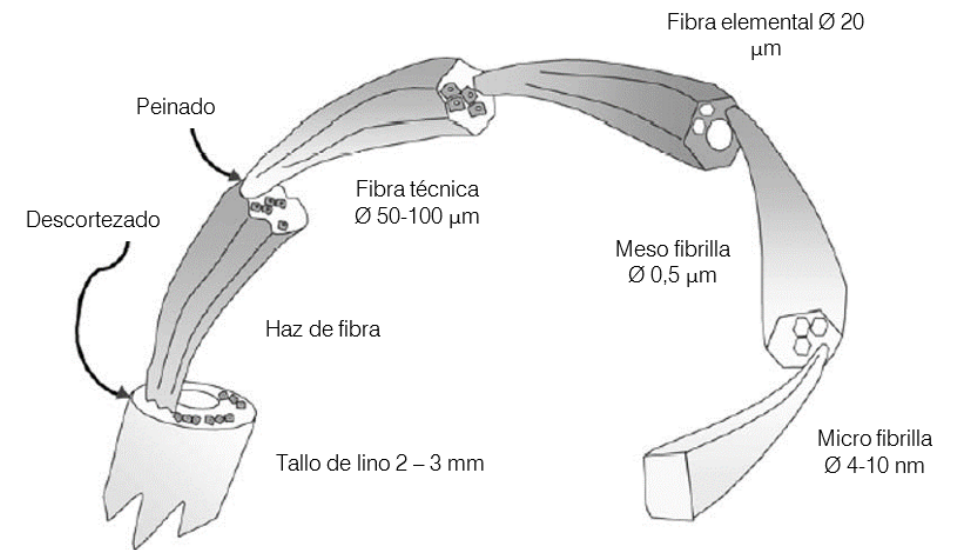
El siguiente paso es “espadar”, golpear los manojos con unas hojas metálicas largas o espadillas para dejar caer los restos de agramiza que aún contenga. Se cuelga el manajo de fibras y el golpeo se realiza hacia abajo, produciendo sacudidas que expulsan a las astillas enmarañadas.



Agramadera tradicional del Museo Etnográfico del Oriente de Asturias, Malopez21 CC BY-SA 4.0

“agramado”, que mediante golpes o cizalladura consigue romper el núcleo leñoso del tallo. El núcleo al completo queda astillado, y son estas astillas las que forman la agramiza. Se obtiene así una maraña de fibra grosera con restos de agramiza enredados en ella.

Una vez libre de agramiza, se hace pasar por un peine o rastrillo metálico que va abriendo los haces, retirando las fibras más cortas y de peor calidad de aquellas más largas, consiguiendo además una alineación de las fibras. El rechazo genera la llamada “estopa”.



Estructura de haces hacia fibras elementales del lino. De menor a mayor finura, adaptado de Bismarck *et al.*, 2005

Este procesado afecta a la forma física de la fibra. En cada paso se va transformando desde gruesos haces de fibras hasta llegar a pequeños haces o incluso fibras elementales (Bismarck *et al.*, 2005).

Mediante este método tradicional de enriado en agua y separación manual, se obtienen fibras de gran calidad, pero a la ya mencionada contaminación por las aguas generadas hay que añadir la alta necesidad de mano de obra, restando competitividad al producto final (J. J. Lips & E. G. van Dam, 2013).

La industria de las fibras vegetales requiere de un flujo de materia prima de calidad constante, de buenas propiedades mecánicas y bajo coste.

Teniendo en cuenta la gran variabilidad que puede darse por causas genéticas, climatológicas, agronómicas, etc., y que la técnica tradicional es intensiva en mano de obra, la optimización del procedimiento solo puede alcanzarse si se mejoran los procesos tradicionales descritos anteriormente. De esta forma han surgido nuevas técnicas de separación de las fibras.



Procesos mecánicos

SEPARACIÓN VERDE O DESCORTEZADO

Es un procedimiento más simple y eficiente que viene siendo estudiado desde la década de 1950 (Dryer, 1958).

Dependiendo de la maquinaria a utilizar, es posible introducir los tallos verdes, ya sea recién cortados o con un mínimo tratamiento de enriado, o tallos secos como tales o en pacas. Si se opta por dejarlos secar previamente en el campo, se consigue alimentar a la **descortezadora o desfibradora** con una materia prima homogénea, dando como resultado una mayor uniformidad en las propiedades de la fibra acabada (Bismarck *et al.*, 2005). Por otro lado, un enriado previo mejora la finura final de la fibra (Munder *et al.*, 2005). También, dependiendo de la maquinaria o de la finalidad de la fibra es posible que sea necesario cortar previamente los tallos a una determinada longitud.

"LA SOSTENIBILIDAD NO PUEDE
SER COMO UNA ESPECIE DE
SACRIFICIO MORAL O DILEMA
POLÍTICO O UNA CAUSA
FILANTRÓPICA. TIENE QUE SER
UN RETO DE DISEÑO"

Bjarke Ingels



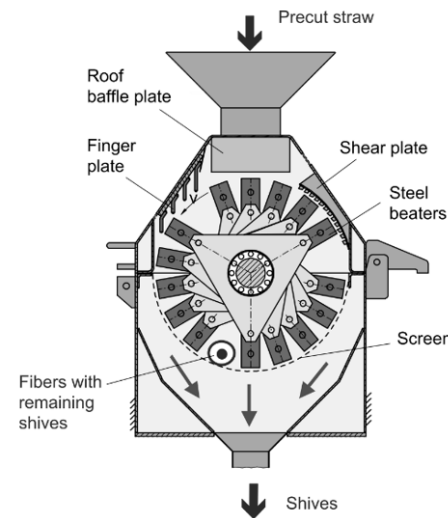
Bajo la denominación de **descortezadora** podemos encontrar por un lado máquinas que realizan una mera separación de la corteza, y por otro lado, equipos de separación completa de fibras o desfibradoras.



Descortezadora simple, La Orden-CICYTEX

Las primeras separan en mayor o menor grado la fibra y la agramiza, obteniendo unas cintas de corteza fibrosa que luego habrá que tratar para separarlas. Este tratamiento puede ser un enriado en agua o alguno de los métodos descritos más adelante. El funcionamiento de una descortezadora simple consiste en aplicar golpes con mazos o presión por rodillos estriados que rompen el núcleo interno, dejando libres las fibras de la corteza. Esta parte imita al agramado del proceso tradicional.

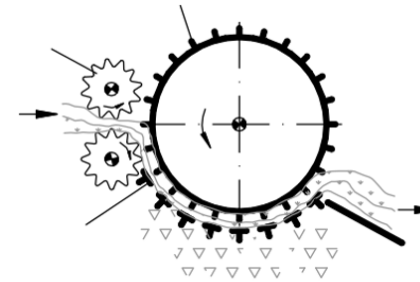
Las desfibradoras comprenden el procesado completo, alcanzando en algunos casos fibra de alto grado de finura. En ellas, podemos encontrar como primera etapa un molino de martillos con un sistema de limpieza de agramiza integrado.



Molino de martillos para fibras, Munder *et al.*, 2005

Los golpes producidos por los martillos rompen la caña a la vez que van separando los haces de fibra. Las astillas de agramiza se van concentrando en una rejilla inferior de descarga donde son absorbidas por efecto neumático. Se consigue una mayor separación de las fibras debido a que, al separar las astillas, la mayor proporción de golpeado recae sobre la fibra remanente y, además, existe un efecto de golpeo adicional de las fibras con los huecos de la rejilla.

El material va avanzando axialmente por efecto neumático hacia el siguiente paso que es el de la limpieza, que implica eliminar completamente los restos de agramiza. Hay varios sistemas, el más común es un “tambor de espadado” que consiste en un sistema rotatorio de hojas metálicas que impactan en la fibra, sacudiendo los restos de agramiza. De igual forma, se trata de una variante mecánica del espadado tradicional.



Tambor de espadado, Munder *et al.*, 2005

Después, la fibra se conduce hacia unos rodillos con pequeños salientes como agujas, ganchos o dientes de sierra que cardan las fibras. Un rodillo principal desplaza el material de entrada, mientras que hay otro enfrentado que gira a una mayor velocidad lineal en el mismo sentido. Con este sistema se consigue abrir y desenmarañar los haces fibrosos, llegando incluso a alcanzar las fibras elementales. Además, en este paso se alinean las fibras y se mejora la finura. Esta última fase, tal y como

ocurre en las técnicas tradicionales, separa la fibra de la estopa que es el rechazo considerado de peor calidad.

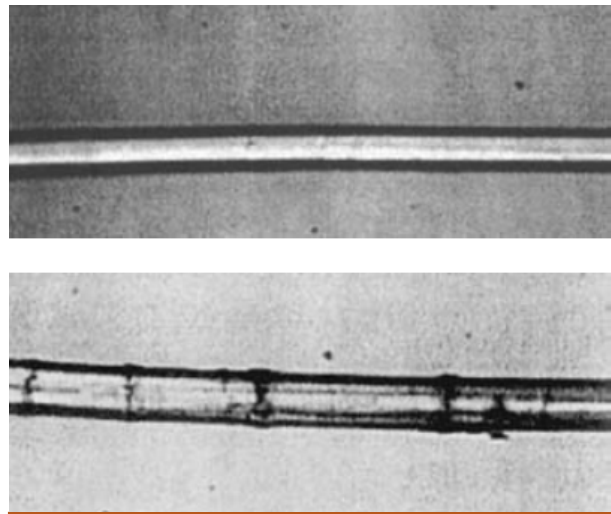
Para terminar, se pueden cortar las fibras a una determinada longitud y empacarlas para un mejor manejo y almacenamiento (Bousfield *et al.*, 2018; Munder *et al.*, 2005). La longitud necesaria de las fibras requeridas para muchas aplicaciones industriales es de 80 mm, y pueden ser alcanzadas manejando los parámetros de operación.

A pesar del alto grado de mecanización, esta técnica de desfibrado mecánico ha producido de manera general fibras más bastas que un enriado tradicional.

La contrapartida del uso de esta maquinaria reside por un lado en que la intensidad del tratamiento debe ser ajustable y adaptarse al estado de madurez y enriado de los tallos en su caso. A mayor madurez, mayor lignificación y más difícil resulta separar las fibras.



También influye el enriado previo o su ausencia, ya que unos tallos verdes aún no degradados también requieren más energía para su separación (Bourmaud *et al.*, 2018). En este sentido, a nivel microscópico una excesiva intensidad del mecanizado da lugar a fibras con daños debido a torsiones y defectos, de ahí que sea muy importante el ajuste de la intensidad mecánica (Toonen *et al.*, 2007).



Arriba: fibra correctamente tratada.
Abajo: daños por excesivo estrés mecánico durante la separación, Bismarck *et al.*, 2005

“HOY EN DÍA, NACIONES, EMPRESAS E INSTITUCIONES DE TODO EL MUNDO BUSCAN LA FÓRMULA PARA EL CRECIMIENTO. UNA GRAN PARTE DE LA SOLUCIÓN ESTÁ EN LA INNOVACIÓN SUSTENTABLE”

Muthar Kent



Cannabis sativa fibre, Hennepvezel CC-BY-SA-4.0



Procesos físicos

También llamados procesos húmedos, son un grupo de métodos que presentan un amplio rango de parámetros del procedimiento, que permiten modificar las características de la fibra final dependiendo del producto para el cual se vaya a destinar. Estos procesos son los únicos que pueden dar lugar a unas fibras limpias y homogéneas (Bismarck *et al.*, 2005).

ENRIADO POR ULTRASONIDOS

En este procedimiento los tallos en verde se martillean ligeramente, se lavan y se introducen en un baño con agua a unos 70°C en medio alcalino y con surfactantes. En estas condiciones se les aplica ultrasonidos de alta intensidad. Esto consigue separar las fibras del núcleo leñoso con una calidad suficiente para aplicaciones técnicas y no textiles (Bismarck *et al.*, 2005).

MÉTODO POR EXPLOSIÓN DE VAPOR

En este proceso los tallos son sometidos a presión, temperatura y vapor saturado. El vapor, junto con algunos aditivos, penetran en los espacios entre los haces de fibras. Posteriormente se provoca una brusca liberación, que consigue una separación efectiva, alcanzando fibras finas de calidad similar a las del algodón (Bismarck *et al.*, 2005).

MÉTODO DURALIN®

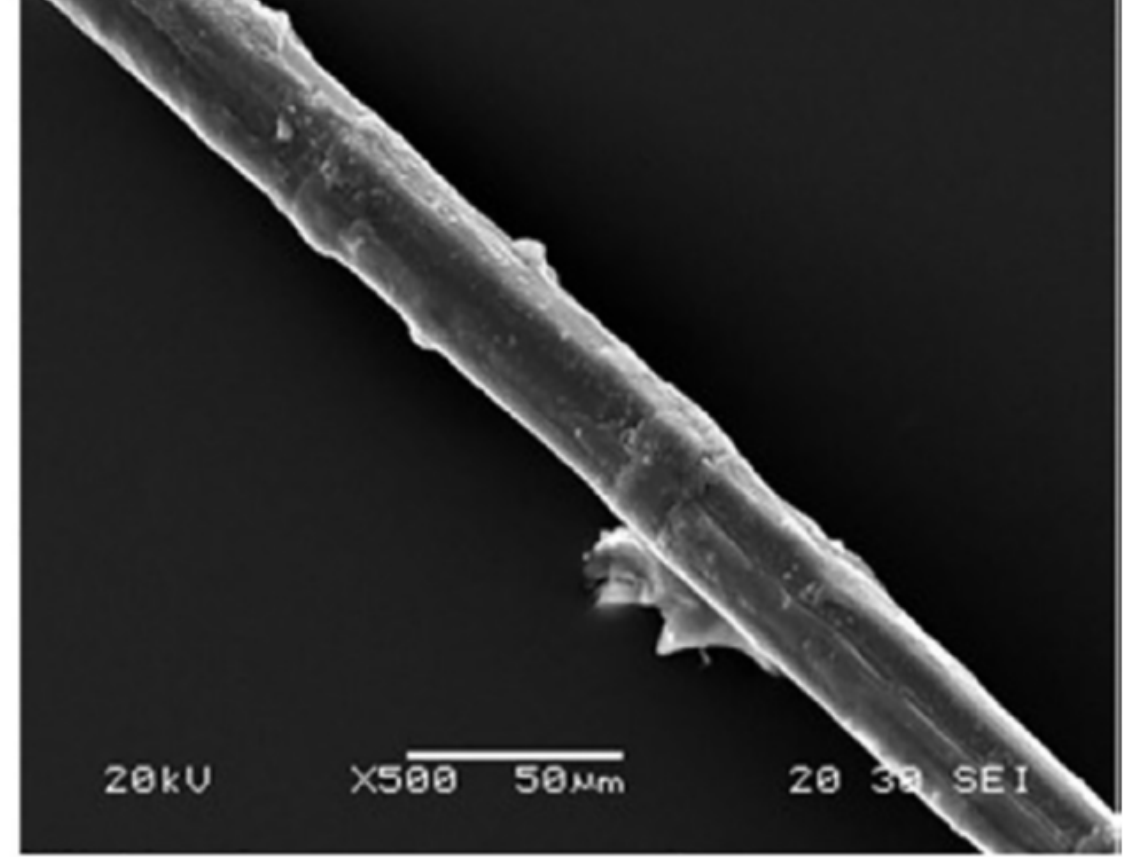
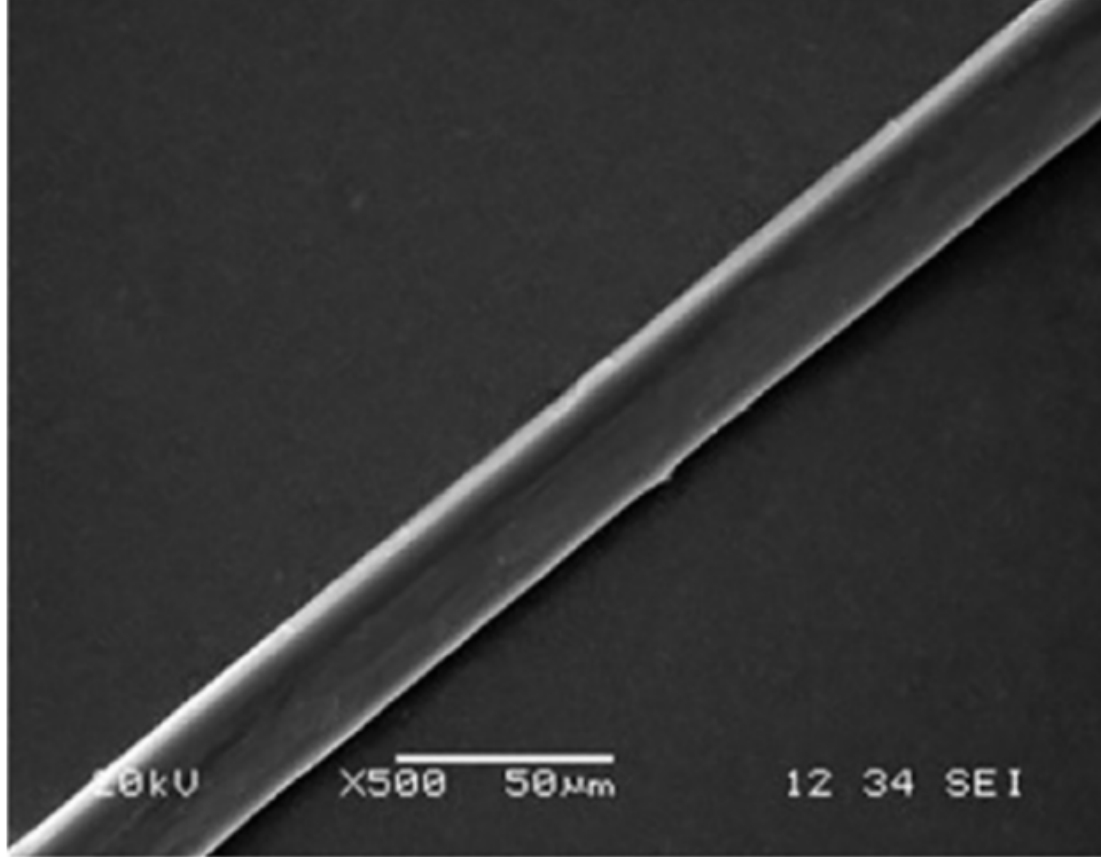
Se trata de un método avanzado que no requiere de enriado previo y consta de tres etapas: hidro-termólisis, secado y curado.

En la hidro-termólisis, los tallos limpios sin semillas se calientan en agua o con vapor hasta los 160°C en autoclave durante 15 - 30 minutos. Durante este tratamiento, la lignina y hemicelulosa se rompen en moléculas más pequeñas. Posteriormente se seca y en la etapa de curado se vuelve a calentar hasta los 150°C durante dos horas. Los compuestos formados en la primera parte se combinan en este último paso para formar una resina hidrófoba que mantiene unidas a las microfibrillas de celulosa. Tras este tratamiento las fibras se separan fácilmente del núcleo leñoso con un simple raspado.

La capa de resina hidrófoba generada durante el curado es importante a la hora de formular materiales compuestos (Bousfield *et al.*, 2018). Además, este recubrimiento reduce la capacidad higroscópica y mejora la resistencia a hongos. Esto es muy importante a la hora de utilizar las fibras para la fabricación de materiales de construcción.

Este método produce alta proporción de fibra y de agramiza residual. Este residuo también está tratado y es un excelente y ligero relleno para polímeros (Pott & Ceres, 2002). Además, esta mayor producción de agramiza ayuda a rentabilizar el proceso.





Microscopía electrónica de barrido. Izquierda, fibra tras enriado correcto y superficie homogénea. Derecha, enriado incorrecto con residuo de polisacáridos, Le Duigou *et al.*, 2020

Métodos químicos

ENRIADO ENZIMÁTICO

En este método se utilizan enzimas que consiguen un control selectivo en la degradación de las pectinas y todos los polímeros no celulósicos. Se trata de emular en condiciones controladas a un enriado en agua (Bourmaud *et al.*, 2018; Bousfield *et al.*, 2018).

Primeramente, se colocan los tallos en un tanque con agua y se añaden las enzimas a una temperatura donde el trabajo de estas sea óptimo. El proceso puede durar entre dos y veinticuatro horas. Si previamente se hace un trabajo mecánico como un prensado sobre los tallos verdes sin enriado previo o con un enriado leve, se consigue un mayor nivel de penetración de las enzimas en los tejidos, acelerando notablemente el proceso. Mediante este procesado se pueden conseguir fibras individuales con una resistencia individual muy superior, pero requiere

un control muy exhaustivo de las enzimas. Al finalizar, es necesario eliminar completamente la presencia de estas mediante una oxidación que las desnaturalice o un lavado muy intenso para un arrastre completo. En caso contrario las enzimas podrían continuar su ataque indefinidamente deteriorando en exceso las fibras (Dodd & Akin, 2005).

Esta técnica es cara por el **elevado coste de las enzimas y del tratamiento** posterior del residuo acuoso resultante (Bismarck *et al.*, 2005).





Rollos de Isolkénaf, Euchora

Fibras en construcción

El **cáñamo** posee tres características útiles en construcción: capacidad aislante, elevada resistencia mecánica de las fibras y baja densidad (110 kg/m^3) (Nunes *et al.*, 2017). Dos son los materiales de cáñamo habituales en construcción: la fibra y la cañamiza. Ambos se utilizan como tales o mezclados con tierra, cemento o cal.

En cuanto al **kenaf**, lo dicho anteriormente es también aplicable. Tanto agramiza como la fibra de kenaf son de utilidad en el sector constructivo. Existen ya en el mercado paneles de fibra de grosor y densidad variable para su uso como aislante térmico y acústico. A continuación describimos el desempeño de estos materiales.

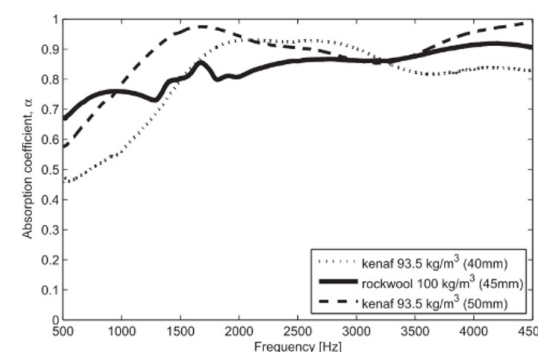
Estudios acústicos

FIBRA DE KENAF

Atendiendo a estudios realizados, si comparamos un panel aislante de kenaf con otro de lana de roca, el coeficiente de absorción acústica de la lana de kenaf es igual o ligeramente superior.

Un panel de lana de kenaf con una densidad de $93,5 \text{ kg/m}^3$ y un grosor de 40 mm presenta unos coeficientes medios de absorción acústica similares a otro de lana de roca de 100 kg/m^3 y 45 mm. Si aumentamos el grosor del material vegetal a 50 mm con la misma densidad, su rendimiento supera al material mineral para todo el rango superior a 1 kHz. Solo en el rango inferior la lana de roca aventaja mínimamente al kenaf. No obstante, si se combina el material vegetal con una cámara de aire posterior, se mejora notablemente el desempeño a frecuencias inferiores a 1,5 kHz (Z. Y. Lim *et al.*, 2018).

Para fabricar este producto la mayoría de fabricantes añaden una mínima cantidad de poliéster u otro polímero en el proceso de termofijado para mejorar la consistencia.



Coefficiente de absorción acústica kenaf (línea de puntos) Vs lana de roca (línea continua), Z. Y. Lim *et al.*, 2018

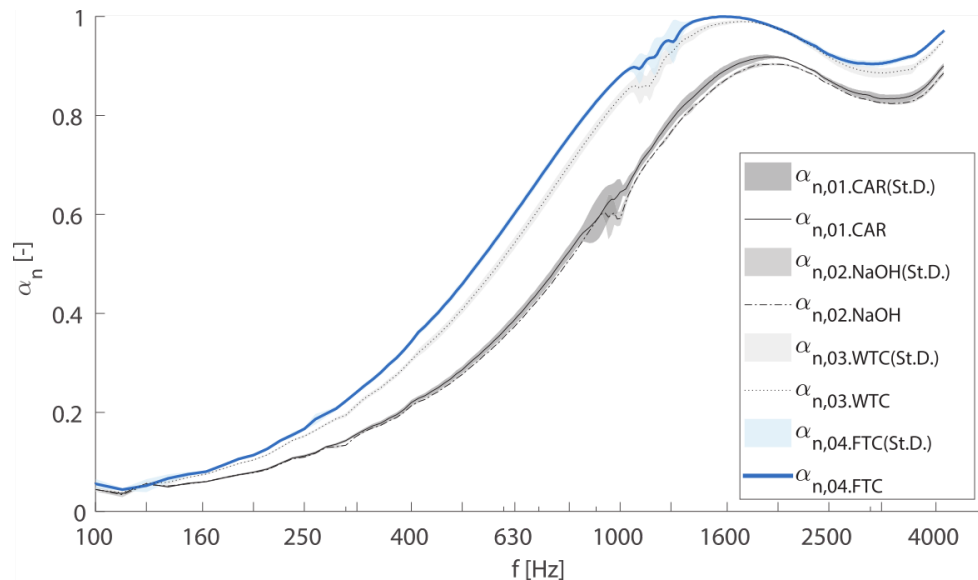


Paneles y rollos de Isolkénaf, Euchora



FIBRA DE CÁÑAMO

Una muestra de fibra de cáñamo con una densidad de 88 kg/m³ y grosor de 40 mm, ha dado como resultado una curva muy parecida a la del kenaf, con un pico cercano a los 1.600 Hz y un mínimo en torno a 3.000 Hz (Santoni *et al.*, 2019).



Curva de absorción acústica para la lana de cáñamo. Línea azul: 88 kg/m³ y 40 mm, Santoni *et al.*, 2019

El proceso de fabricación de los paneles comerciales de cáñamo es semejante al de kenaf, pues ambos suelen incorporar una pequeña cantidad de polímero como adhesivo.



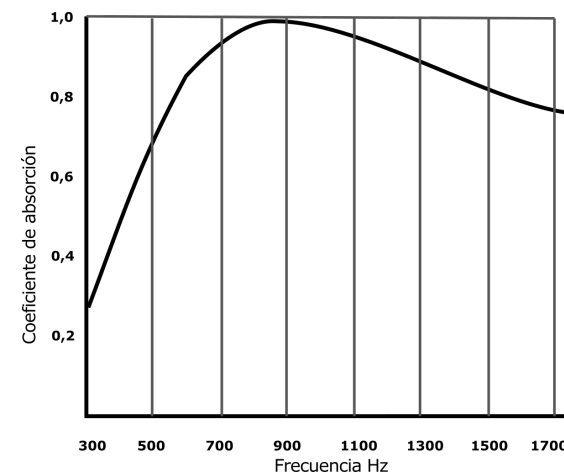
Paneles aislantes de lana de cáñamo de Eurochanvre, Críni *et al.*, 2020

AGRAMIZA DE KENAF

Los procedimientos descritos previamente para la fabricación de tableros particulados son aplicables a la producción de paneles para acondicionamiento acústico utilizando la agramiza de kenaf. Tanto mezclada con astillas de madera como con un cien por cien de agramiza, se pueden obtener paneles con propiedades acústicas y térmicas similares a la lana de roca (J. J. Lips & E. G. van Dam, 2013; Xu *et al.*, 2006). No obstante, hasta la fecha no se han encontrado datos concretos sobre las capacidades acústicas de este material.

CAÑAMIZA

Para la cañamiza, empleada como absorbente acústico, los trabajos de Delhomme & Castel demuestran que los residuos del cribado de la cañamiza sin compactar (restos de fibra corta, finos y polvo) presentan muy buenas condiciones (Delhomme & Castel, 2020).



Curva de absorción acústica de finos de cañamiza, Delhomme & Castel, 2020

También se ha observado buenas prestaciones acústicas de paneles de cemento blanco mezclados con estopa (fibra corta, de menor resistencia) o cañamiza. Los valores de absorción (α) se mantienen por encima de 0,5 para todo el rango de frecuencias (Fernea *et al.*, 2019).



Estudios térmicos

FIBRA DE KENAF

La conductividad térmica de las fibras de kenaf está entre 0,034 y 0,069 W/m·K (T. O. Dénes & Tămaş-Gavrea, 2019). Comparativamente estos valores son muy parecidos a los de lana mineral, 0,04 W/m·K (Barnaure *et al.*, 2017).

FIBRA DE CÁÑAMO

Presenta un comportamiento similar a la fibra kenaf. En forma de lana de cáñamo, los productos comerciales disponibles presentan una conductividad entre 0,040 W/m·K y 0,048 W/m·K.

Al pasar de la materia prima a un producto derivado, un panel para aislamiento térmico fabricado a partir del tallo completo de cáñamo (fibra y cañamiza) troceado (10 - 20 mm) y prensado con adhesivos fenólicos, mostró valores en seco de 0,056 y 0,059 W/m·K para densidades de 200 y 300 kg/m³, respectivamente; mientras que con un 22% de humedad la conductividad térmica aumentó entre un 60% y 71% alcanzando una conductividad de 0,89 y 1,02 W/m·K respectivamente (Gaujena *et al.*, 2020).

AGRAMIZA DE KENAF

Ensayos realizados por **CICYTEX** dentro del proyecto LIFE **RenaturalNZE** constatan una conductividad térmica para la agramiza de kenaf a granel de 0,061 W/m·K.

CAÑAMIZA

Para la cañamiza pura se establece una conductividad térmica de 0,048 W/m·K (Bourdot *et al.*, 2017). A partir de este material Cigasova *et al.* realizaron un estudio con óxido de magnesio (MgO) mezclado con porciones de cañamiza, observando unos valores de conductividad térmica variables entre 0,07 y 0,09 W/m·K, con densidades que rondaban los 1150 kg/m³ (Cigasova, 2013).

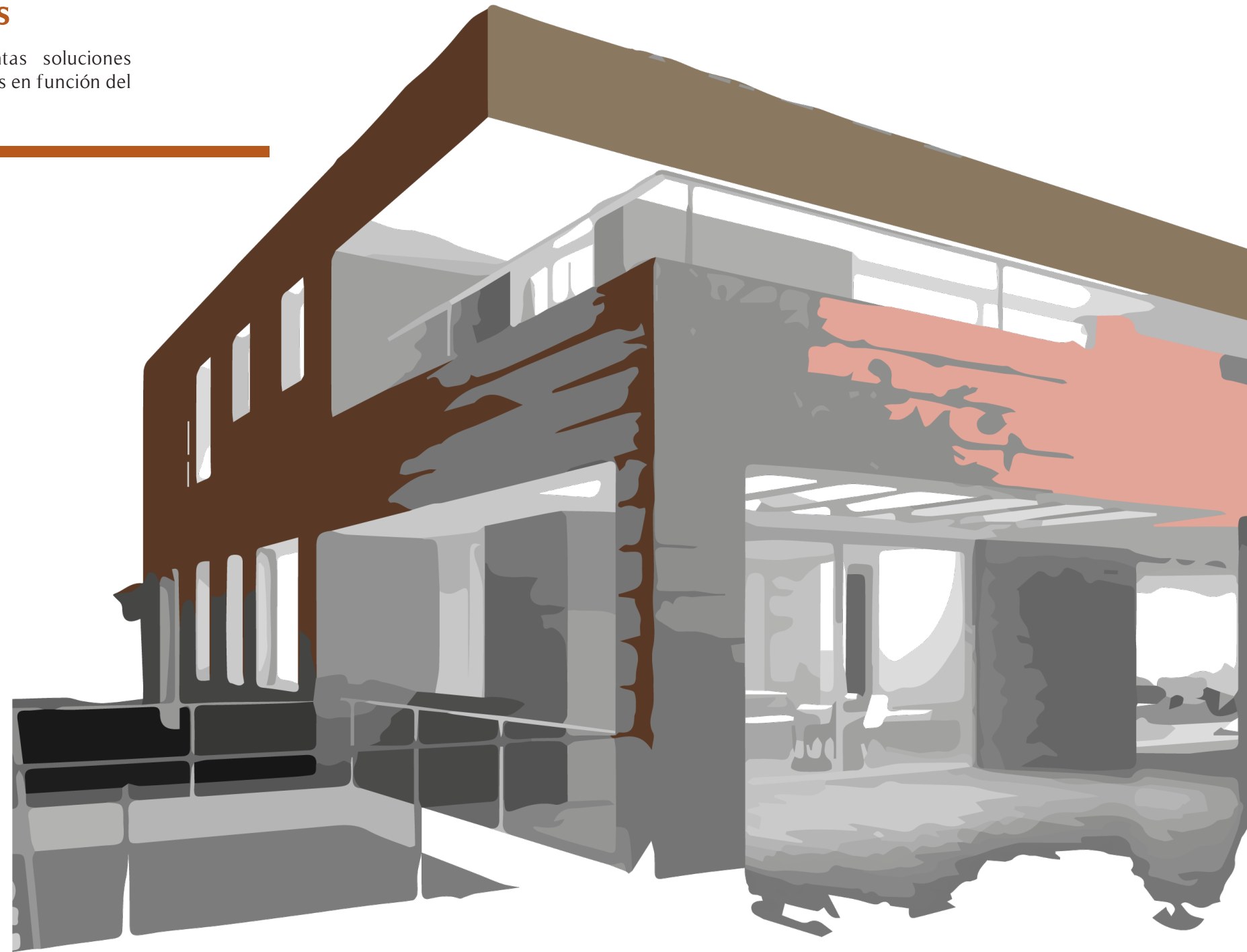
Resultados similares fueron obtenidos por Sassoni *et al.* partiendo de mezclas con MgO y proteína vegetal en forma de paneles de media densidad (330 kg/m³) y 30 mm de espesor. El valor resultante de conductividad fue de 0,078 W/m·K (Sassoni *et al.*, 2014).

Como conclusión se puede afirmar que existe potencial en la generación de productos como aislante a partir de las diferentes partes de kenaf y cáñamo. Pero sobre todo los mejores resultados como aislante térmico y acústico se consiguen utilizando los materiales como tal, sin aglomerantes o tratamiento alguno.

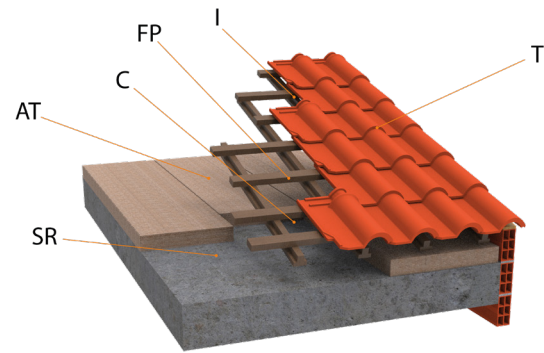


Soluciones constructivas

A continuación, se presentan las distintas soluciones constructivas que ofrecen las fibras naturales en función del lugar que ocupan dentro de la vivienda.



Cubierta inclinada - Forjado horizontal



T: tejado
I: capa de impermeabilización
FP: formación de pendientes
C: cámara de aire ventilada
AT: aislante de fibra natural
SR: soporte resistente

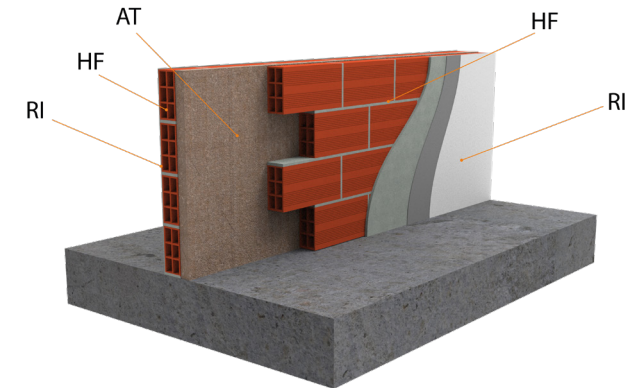
Forjado horizontal. Ventilada. Con capa de protección

El tejado actúa como capa de protección de diversos materiales (teja, pizarra, placas). Formación de pendiente realizada por un soporte de madera, cerámico u hormigón posicionado por encima de la cámara de aire ventilada. El aislante se posiciona sobre el soporte resistente.

Particiones interiores verticales

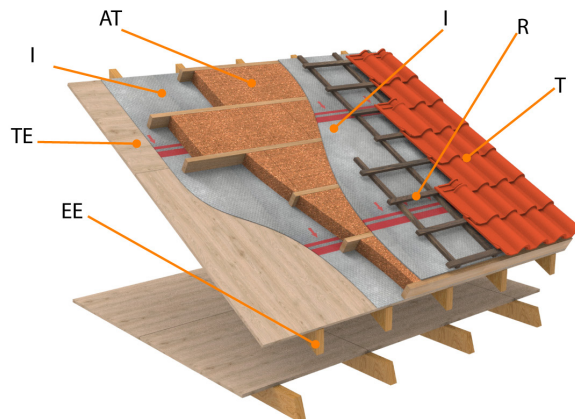
Partición interior con apoyo directo. Elemento base de dos hojas

Elemento constructivo formado por dos hojas de fábrica (ladrillo cerámico o bloque de hormigón), junto con un revestimiento interior que puede ser alicatado o enlucido, y una capa aislante intermedia.



RI: revestimiento interior
HF: hoja de fábrica
AT: aislante de fibra natural

Aislamiento de cubierta



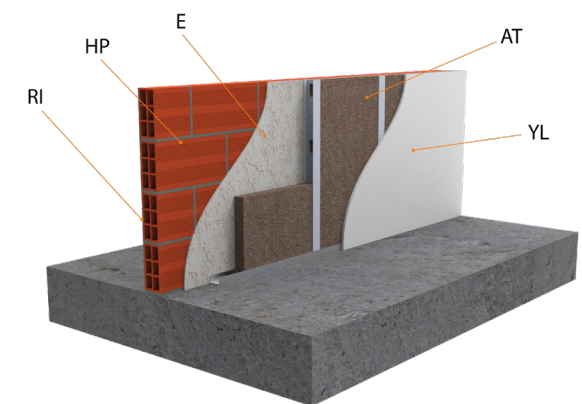
T: tejado
R: rastrel
I: capa de impermeabilización
AT: aislante de fibra natural
TE: tablero estructural
EE: estructura

Forjado horizontal. No ventilada. Con capa de protección

El tejado actúa como capa de protección de diversos materiales (teja, pizarra, placas). Capa de protección sobre soporte de rastres de madera encima de perfil de diversos materiales que, además, define la pendiente.

Partición interior con apoyo directo. Trasdosados

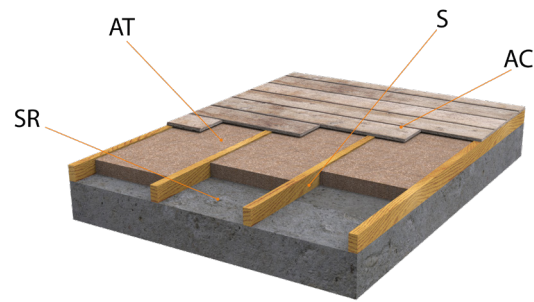
Hoja principal de fábrica (ladrillo cerámico o bloque de hormigón) sobre la que se dispone una estructura autoportante formada por un aislante y una placa de yeso laminado.



RI: revestimiento interior
HP: hoja principal
E: enfoscado en cámara
AT: aislante de fibra natural
YL: placa yeso



Particiones interiores horizontales



AC: acabado
S: soporte de acabado
AT: aislante de fibra natural
SR: soporte resistente

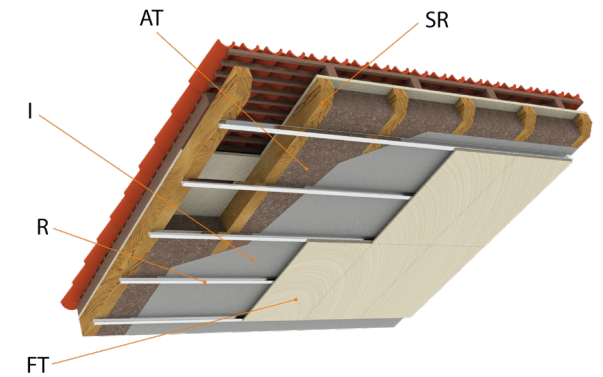
Suelos flotantes

Elemento constructivo que posee un acabado de diversos materiales (maderas, laminados, etc.) que se fija sobre unos rastreles de madera. Debajo se ubica el aislante térmico y de ruidos de impacto sobre el soporte resistente.

Falsos techos

Falsos techos

El tejado, o forjado superior, de diversos materiales (teja, pizarra, placas) actúa como capa de protección. Capa aislante en el entrevigado, encima de perfil que soporta el falso techo.



SR: soporte resistente
AT: aislante de fibra natural
I: capa de impermeabilización
R: rastrel
FT: falso techo



Otros usos en construcción

Las fibras de kenaf o cáñamo son de aplicación en construcción mezcladas con cemento. Se consigue un material compuesto con una menor resistencia a la compresión, pero de muy alta tenacidad en los ensayos de tracción y flexión. De esta manera presenta utilidad como refuerzo en vigas o losas para solera (Alam *et al.*, 2017; Azzmi & Yatim, 2018; Elsaid *et al.*, 2011; Merta, 2017).

La cañamiza es el material que más interés ha despertado. Mezclado con cal hidráulica que produce el hormigón de cáñamo. Se pueden levantar muros encofrados no portantes en estructuras de madera o bien construirlos a base de bloques de este material. Diferentes fabricantes han creado soluciones constructivas completas con estructura incluida. Suelen rematarse con un mortero de cal hidráulica o arcilla. Las ventajas que presenta este material son: excelente aislante, alta eficiencia higrotérmica (permite regulación natural de la humedad), transpirable y tiene buenas propiedades termoacústicas. Presenta huella negativa de carbono y baja energía embebida. Además, es barato y tiene un interesante balance entre masa y calor específico (Crini *et al.*, 2020; Jami *et al.*, 2019). Francia es el país donde más está desarrollada la técnica de construcción con cáñamo.

También se han desarrollado ladrillos con base de cáñamo con función estructural, permitiendo la edificación hasta tres alturas.

Recientemente se ha desarrollado la fabricación del hormigón de kenaf, compuesto por el mismo hormigón que el del hormigón de cáñamo pero con la agramiza de kenaf, presentando prácticamente las mismas propiedades (C. Lim *et al.*, 2019; Tan, 2019).



Bloques de hormigón de cáñamo, <http://www.cannabric.com>



Bloques de hormigón de kenaf, <https://www.hempcrete.es/>



Hasta el momento de la publicación de este manual, se han identificado dos empresas que fabrican materiales aislantes basados en kenaf: **EUCHORA** y **MAIANO**. Se procede a describir los productos que estas empresas comercializan, con la información publicada por los propios fabricantes.

En lo que respecta al cáñamo, existen en el mercado varias empresas que fabrican numerosos productos, tanto con la fibra como con la cañamiza. También está a la venta la propia cañamiza en astillas de diversa granulometría o peletizada como aislante de relleno en huecos. En los siguientes apartados se describen las características publicadas por los fabricantes **Hemp Flax GmbH**, **Technichanvre**, **Logrotex** y **Cannabric**. Los tres primeros fabrican lana de cáñamo mientras que el último fabrica un panel rígido de cañamiza y cañamiza granulada. Se han incorporado aquellos productos representativos que están mejor documentados.



Vivienda fabricada con productos de cáñamo, <https://sustainablehouseday.com>



Aislante Isolkenaf - EUCHORA

La empresa italiana **Euchora** presenta una gama de productos constructivos basados en fibras de kenaf: **IsolKenaf**, en forma de paneles y rollos e **IsolKenaf Pav**, un formato más delgado para instalar bajo pavimento o forjados.

ISOLKENAF

Se trata de un panel de lana de kenaf termofijada para aislamiento termoacústico de tejados, suelos y muros de vivienda.

Datos técnicos generales		
Parámetro	Unidad	ISOLKENAF
Estructura	-	Fibra vegetal termosellada sin adhesivos
Material	-	Fibra natural de kenaf – cáñamo
Espesor	mm	20 – 120
Dimensiones	m	1,20 x 0,60
Densidad	kg/m ³	20 – 100
Calor específico	J/ kg·°C	2050
Absorción de humedad	%	8 – 10
Pudrimiento	Ningún fenómeno de pudrimiento después de 8 días en habitación termostática a la temperatura de 33°C, con inmersión en una tina de agua pútrida (diferentes especies de bacterias)	
Liberación de contaminantes	Tras 8 días en H ₂ O destilada, el material no liberó ningún contaminante	

Datos técnicos. Resumen panel IsolKenaf		
Parámetro (unidad)	Norma	IsolKenaf
Huella de CO ₂ *	-	- 298 g CO ₂ / kg IsolKenaf
Energía inicial incorporada	-	31,9 MJ/kg
Rigidez dinámica (MN/m ³)	UNI EN 29052 – 1	2,9 – 6,5
Resistencia a la compresión 10% (kPa)	UNI EN 826	1,8 – 3,8
Conductividad térmica (W/m·K)	UNI EN 12939	0,036 – 0,039
Reacción al fuego, clase	DIN 4102	F, B2 (con tratamiento ignífugo)
Permeabilidad (kg/(m·s·Pa))	UNI EN 12086	45 · 10 ⁻¹² – 135 · 10 ⁻¹²
Factor de resistencia a la difusión del vapor μ	UNI EN 12086	1,46 – 4,30

*Diferencia simple entre la absorción producida durante el crecimiento de la planta y las emisiones generadas en la fabricación del producto (Avella, 2007).

Cuadro resumen propiedades para densidades de 30 y 60 kg/m³

Parámetro (unidad) (norma)	Isolkenaf 30 kg/m ³							
	Espesor							
	30 mm	40 mm	50 mm	60 mm	70 mm	80 mm	100 mm	120 mm
Rigidez dinámica (MN/m ³) (UNI EN 29052 – 1)	4,8	4,5	4,4	4,3	4,2	4	3,4	2,9
Espesor bajo carga (mm) UNI EN 12431								
d _L 250 Pa	22,2	32,5	42,4	52,1	62,6	72,8	92,8	112,3
d _F 2.000 Pa	19,5	29,7	39,7	48,9	59,3	69,7	89,6	108,7
d _B 50.000 Pa	15,8	26,5	36,5	45,6	56,1	66,1	86,5	105,1
Conductividad térmica (– 10°C) (W/m·K) (UNI EN ISO 12939)	0,038							
Índice ponderado de reducción sonora, R _w (dB) (UNI EN ISO 140/3 – 717/1)	52,0	53,0	54,0	55,0	55,0	59,5	60,0	60,5
Coefficiente de absorción acústica, α (UNI EN ISO 20354)	0,60	0,62	0,66	0,71	0,71	0,76	0,81	0,86
Factor de resistencia a la difusión del vapor, μ (UNI EN 12086)	2,3							

Parámetro (unidad) (norma)	IsolKenaf 60 kg/m ³					
	Espesor					
	20 mm	30 mm	40 mm	50 mm	60 mm	80 mm
Rigidez dinámica (MN/m ³) (UNI EN 29052 – 1)	6,5	5,8	5,9	5,4	5,0	5,7
Espesor bajo carga (mm)						
d _L 250 Pa	16,5	25,8	34,7	44,8	55,9	74,9
d _F 2.000 Pa	15,1	23,1	32,0	42,3	53,1	71,7
d _B 50.000 Pa	12,9	20,2	28,1	39,1	51,4	69,2
Conductividad térmica (– 10 °C) (W/m·K) (UNI EN ISO 12939)	0,038					
Índice ponderado de reducción sonora, R _w (dB) (UNI EN ISO 140/3 – 717/1)	50	50	52	52	53	54
Coefficiente de absorción acústica, α (UNI EN ISO 20354)	0,58	0,62	0,65	0,68	0,72	0,76
Factor de resistencia a la difusión del vapor, μ (UNI EN 12086)	4,3	4,3	3,4	3,4	3,4	3,4



ISOLKENAF PAV

Se trata del mismo material que IsolKenaf, pero en formato de rollos de fieltro de 1,20 x 25 m que incorpora una lámina de polietileno. Está orientado al aislamiento acústico en suelos y forjados.

Datos técnicos IsolKenaf Pav				
Parámetro (unidad)	Norma	IsolKenaf Pav		
Dimensiones (m)	UNE EN 822	1,2 x 25		
Densidad kg/m ³	UNE EN 1602	60		
Reacción al fuego	UNE 9177	F		
Espesor bajo carga (mm)	UNE EN 12431	8 mm	10 mm	15 mm
d _L 250 Pa		5,6	6,4	10,2
d _F 2.000 Pa		4,4	5,6	8,9
d _B 50.000 Pa		3,7	4,3	7,3
Rigidez dinámica (MN/m ³)	UNE EN 29052 – 1	3,1	2,7	2,5
Resistencia a la compresión 10% (kPa)	UNE EN 826	1,65	1,69	1,71
Mejora en la atenuación de ruido de impactos* (dB)	UNI 140/6 – 1 UNI EN ISO 717/2	ΔL=38,4 dB	ΔL=38,7 dB	ΔL=39,2 dB
Factor de resistencia a la difusión del vapor, μ	UNI EN 12086	1,87	1,90	1,91
Factor de permeabilidad al vapor, δ (kg/(m·s·Pa))	UNI EN 12086	99·10 ⁻¹²	98·10 ⁻¹²	99·10 ⁻¹²
Conductividad térmica (-10 °C) (W/m·K)	UNI EN 12939	0,040	0,039	0,039

*Diferencia medida con y sin material referido a 500 Hz. Calculado en la banda 100-4.000 Hz. Configuración del ensayo: suelo de hormigón armado (140 mm) con IsolKenaf Pav (1,5 x 1,5 m), equipo normalizado ISO de ensayo de pisadas, solera de granito (70 mm) de masa superficial 107 kg/m². Volumen de estancia de escucha 50 m³.

CERTIFICACIONES ISOLKENAF

El producto Isolkenaf cuenta con las certificaciones:

- **BIOSAFE®**
- **ANAB-BIOCONSTRUCCIÓN**
- **LEED (Leadership in Energy & Environmental Design)**
- **Clasificación A+ sobre emisión de compuestos orgánicos volátiles (COV) según la legislación francesa**

Aislante FeltKenaf y Naturtherm - MANIFATTURA MAIANO

El fabricante **Manifattura Maiano SpA** dispone de dos productos hechos con fibras de kenaf, **FeltKenaf Plus**, en formato de esteras para su uso como aislante acústico contra los impactos. Y por otro lado, **Naturtherm-Ke**, orientado al aislamiento de cavidades y paredes de interior o exterior, tanto en nueva construcción como para acciones de rehabilitación.

FELTKENAF PLUS

Se trata de rollos compuestos por un 90% de kenaf y 10% de poliéster. Se encuentra en densidades de 120 a 200 kg/m³.

Nombre	Densidad kg/m ³	Grosor mm	Tamaño m	Aplicación
FELTKENAF 120.5	120	5	Rollo 1,5 x 20	Bajo parqué
FELTKENAF 130.3	130	3	Rollo 1,5 x 40	Bajo parqué
FELTKENAF PLUS 130.8	130	8	Rollo 1,5 x 20	Bajo piso
FELTKENAF PLUS 180.6	180	6	Rollo 1,5 x 20	Bajo piso

Datos técnicos FeltKenaf Plus			
Parámetro	Norma	Resultado	Densidad y grosor de referencia
Atenuación acústica	UNI EN ISO 140 – 7	ΔL _{rw} = 25 dB	130 kg/m ³ 8 mm
Medido en obra			
Rigidez dinámica	UNI EN 29052	S't = 18,0 MN/m ³	200 kg/m ³ 4 mm
Deformación bajo carga	UNI EN 12431	10%	150 kg/m ³ 5 mm
1 kPa		10%	180 kg/m ³ 6 mm
2 kPa	P.I.	3%	130 kg/m ³ 8 mm
Permeabilidad al vapor de agua	UNI EN 12086	δ = 195.000	Película PE impermeable
	UNI EN 12086	δ = 0,31	- - -
Factor de resistencia a la difusión del vapor	UNI EN 12086	μ = 2,3	Referido a la estera
	UNI EN 12086	μ = 195.000	Película PE impermeable
Absorción higroscópica	UNI EN 12571	u = 0,04	Referido a la estera
Reciclabilidad	- - -	100,00%	- - -
Temperatura de aplicación	- - -	- 40°C + 110°C	- - -

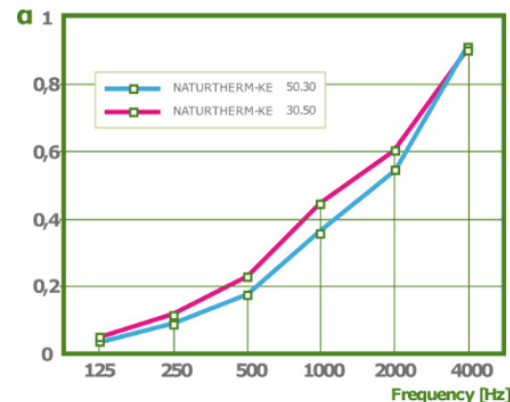


NATURTHERM-KE

Naturtherm-KE está también compuesto por un 90% de kenaf y un 10% de poliéster. Se comercializa como paneles termofijados fabricados sin aditivos químicos.

Nombre/Formato	Densidad kg/m ³	Grosor mm	Resistencia térmica R UNI EN 12667	Tamaño cm x cm	Aplicación
NATURTHERM – KE 100.10	100	10	0,33	120 x 60	Suelos
NATURTHERM – KE 30.50	30	50	1,25	120 x 60	Muros y tejados
NATURTHERM – KE 40.60	40	60	1,67	120 x 60	Muros y tejados
NATURTHERM – KE 50.30	50	30	0,86	120 x 60	Muros y tejados
NATURTHERM – KE 50.50	50	50	1,43	120 x 60	Muros y tejados
NATURTHERM – KE 50.60	50	60	1,71	120 x 60	Muros y tejados
NATURTHERM – KE 50.70	50	70	2,00	120 x 60	Muros y tejados

Datos técnicos Naturtherm – KE			
Parámetro	Norma	Resultado	Densidad y grosor de referencia
Huella de CO ₂	EPDRaft y CML2baseline	1,79 kg CO ₂ eq.	Fase de adquisición y producción de 1 kg de aislamiento
Energía inicial incorporada	EPDRaft y CML2baseline	25,03 MJ	
Conductividad térmica	UNI EN 12667	$\lambda = 0,030$ W/m-k	100 kg/m ³
		$\lambda = 0,035$ W/m-k	50 kg/m ³
		$\lambda = 0,040$ W/m-k	30 kg/m ³
Aislamiento acústico	UNI EN ISO 140 – 4	R'w = 52 dB	Pared de ladrillo de 12 cm de espesor, muro de soporte por ambas caras y doble revestimiento de cartón-yeso, Naturtherm-Ke 50.60 en la cavidad
Absorción de sonido	UNI EN ISO 10534 – 2	α_n [500Hz] = 0,06	100 kg/m ³ – 10 mm
		α_n [500Hz] = 0,18	200 kg/m ³ – 30 mm
		α_n [500Hz] = 0,23	150 kg/m ³ – 50 mm
Rigidez dinámica	UNI EN 29052	S _t = 5,0 MN/m ³	100 kg/m ³ – 10 mm
Deformación bajo carga 1 kPa	UNI EN 12431	20%	100 kg/m ³ – 10 mm
Permeabilidad al vapor de agua	UNI EN 12086	$\delta = 0,31$	
Resistencia a la difusión vapor de agua	UNI EN 12086	$\mu = 2,3$	Referido solo al panel
Absorción higroscópica	UNI EN 12571	u = 0,04	---
Densidad de flujo de vapor de agua			12 x 10 ⁻³ g/(m ² día)
Calor específico	---	1.700 J/kg-K	
Reacción al fuego	UNI EN ISO 13501 – 1	Clase F	
Reciclabilidad	---	100,00%	---
Temperatura de aplicación	---	- 40°C + 110°C	---



Curvas de absorción acústica de Naturtherm-KE bajo la UNI EN ISO 10534-2:2001, MAIANO

Características acústicas Naturtherm, adaptado de MAIANO

PODER INSONORIZANTE
UNI EN ISO 140-4

R'w= 51 dB (Medido en obra)

Pared de ladrillo con doble panel y cámara de aire

Muro de bloques de ladrillo de 12 cm de espesor (12x25x25 cm)
Naturtherm 50.30
 Estructura de cartón-yeso de 3 cm con doble placa de 12,5 mm; placas de cartón-yeso cruzadas
 Cámara de aire
 Enlucido 1,5 cm

REDUCCIÓN DEL RUIDO DE IMPACTOS
UNI EN ISO 140-7

ΔL'nw 39 dB (Medido en obra)

Suelo de ladrillo y cemento

Adhesivo y pavimento (ausente en fase de pruebas)
 Solera flotante de hormigón de alta densidad de 5 cm de altura
 Capa única de **Naturtherm KE-100.10**

CERTIFICACIONES NATURTHERM-KE

Oeko-Tex standard 100



Aislante Thermo Hemp - HEMPFLAX BUILDING SOLUTIONS GmbH

THERMO HEMP PREMIUM

Lana aislante de fibra de cáñamo fabricada mediante un proceso de termofijado sin resinas o poliéster y con electricidad 100% eco. Incluye sosa como sustancia ignífuga. Destinado al relleno de huecos en construcciones de madera, aislamiento entre vigas y viguetas de madera así como en construcciones con cavidades.

Descripción	Thermo Hemp premium
Evaluación técnica europea	ETA – 05/0037
Referencia	130701 – 040 – 01
Componentes	85 – 90% Fibras de cáñamo, 8 – 10% Biopolímero basado en PET 2 – 5%, sosa como protector del fuego
Estabilidad dimensional	
Largo y ancho (EN 822:2013)	Largo: ± 2% Ancho: ± 1,5%
Grosor (EN 823:2013)	- 4 mm y + 10 mm / + 10% (cumple con T3 EN 13171:2012, tabla 1)
Densidad (EN 1602:2013)	35 – 40 kg/m ³
Resistencia a la tracción en el plano del panel (EN 1608:2013)	≤ 30 kPa

Ahorro energético y aislamiento térmico												
Conductividad térmica nominal λ_D (23,50) (EN 12667:2001)		0,041 W/m·K										
Resistencia térmica												
Grosor [mm]	30	40	50	60	80	100	120	140	160	180	200	220
RD (23,50) [m ² ·K/W]	0,7	1	1,2	1,5	2	2,4	2,9	3,4	3,9	4,4	4,9	5,37
Calor específico, C. EN 12667:2001		2.300 J/kg·K										
Coeficiente de resistencia a la transmisión de vapor μ (Condición climática 23 – 50/93 EN 12086:2013)		1 a 2										
Absorción de agua EN 1609:2013, proceso A		≤ 4,2 kg/m ²										

Aislamiento acústico									
Resistencia relativa al flujo EN 29053:1993					3,0 kPa s/m ²				
Absorción de sonido	Coeficiente de absorción acústica práctico a_p EN ISO 11654							EN ISO 11654	
	Frecuencia de media octava [f/Hz]							Coeficiente de absorción acústica nominal a_w	Clase de absorbente acústico
(EN ISO 354:2003 y EN ISO 11654:1997)	Grosor [mm]	125	250	500	1000	2000	4000		
	40	0,2	0,45	0,7	0,85	0,9	0,95	0,7 (H)	C
	160	0,85	1	1	1	1	1	1	A

Comportamiento ante el fuego	
Comportamiento ante el fuego EN ISO 11925 – 2:2010	B2, Clase E EN 13501 – 1:2010
Temperatura máxima de uso [°C]	120°C
Higiene, salud y protección ambiental	
Resistencia a hongos EAD, Anexo B (ISO 846:1997)	0
Formato de envío	Esteras o rollos
Grosos estándar	Esteras 30 – 220 mm: Rollos 30 – 80 mm:
	1200 x 625 mm Longitud 6,0 – 10,0 m (dependiendo del grosor)
	1200 x 580 mm (medidas de construcción de madera) Ancho 625 mm o 580 mm
	2400 x 1000 mm



THERMO STEP HEMP

Lana aislante delgada de alta densidad, fabricada con 100% fibra de cáñamo cosida mecánicamente. Está destinada al aislamiento bajo solera o parqué, tiras de sellado, aislamiento de vigas desnudas y para paneles de yeso o falsos techos.

Características técnicas		
Composición	100% fibra de cáñamo cosida mecánicamente. Sin aglutinante	
Espesor	3 a 8 mm ($\pm 10\%$)	
Peso base total	400 g/m ² a 1400 g/m ² ($\pm 10\%$)	
Densidad a granel	133 a 175 kg/m ³ ($\pm 10\%$)	
Capacidad calorífica específica c	2.300 J/kg.K	
Coefficiente de resistencia a la difusión del vapor de agua μ condición climática 23-50/93	1 a 2	
Comportamiento al fuego (EN ISO 11925 - 2)	B2, Clase E/Efl (según EN 13501 - 1:2010)	
Máxima temperatura de funcionamiento	160°C	
Formatos de entrega [grosor x ancho x largo]	Rollos para aislamiento de suelo	Tiras para desacoplamiento acústico en capas de viguetas y tabiques
	3 mm x 1000 mm x 25 m	3 mm x 100 mm x 25 m
	5 mm x 1000 mm x 25 m	5 mm x 100 mm x 25 m
	8 mm x 1000 mm x 15 m	8 mm x 1000 mm x 15 m

CERTIFICACIONES THERMO HEMP

Oeko-Tex standard 100

Aislante TECHNILAINE® - TECNICHANVRE®

Lana de cáñamo, de la empresa francesa **Tecnichanvre®**, para aislamiento térmico y acústico. Disponible en rollos y paneles.

Características técnicas de Technilaine®	
Composición	85% fibra de cáñamo, 15% ligante bicomponente no emisivo
Conductividad térmica en seco	$\lambda = 0,040$ W/m.K
Conductividad térmica húmedo	$\lambda = 0,048$ W/m.K
Calor específico en 25kg/m ³	1370 J.kg.K
Desfase térmico en 20 cm (25kg/m ³)	4 h 15 min
Resistencia a tracción paralela a las caras (NF EN 160812 - CSTB)	Soporta 2 veces el peso del producto
Tracción perpendicular a las caras (NF EN 1607)	4171 N/m ²
Reacción al fuego	Euroclase F
Absorción de agua (EN 1609)	3,70 kg/m ²
Humidificación parcial (ACERMI)	Sin variación de espesor
Coefficiente de difusión del vapor de agua (EN 12086)	$\mu = 1$
Coefficiente de absorción acústica en 25kg/m ³ (EN ISO 354)	$\alpha_w = 0,65$
Reducción de ruido (tabique 96/70 con lana R25.060)	$R_w = 41$ dB
Resistencia biológica (CUAP)	F3
Embalaje	1 rollo en bolsa de plástico - no paletizado
Almacenamiento	Protegido de la intemperie, seco
Formatos	20, 25, 30 y 45 kg/m ³



Aislante Isolgreen® - LOGROTEX

ISOLGREEN

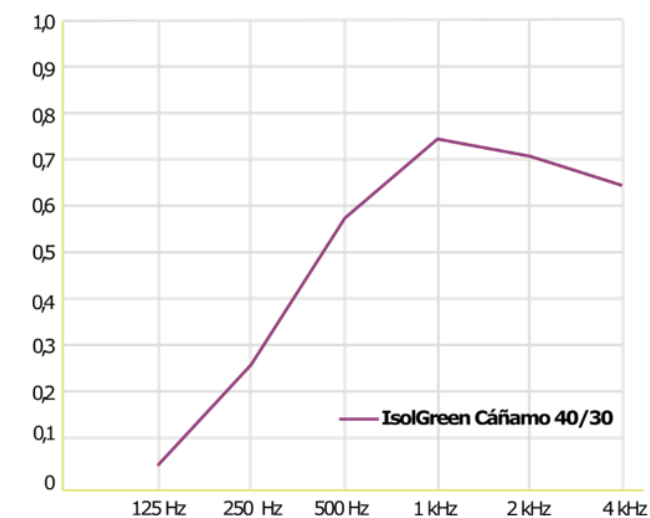
Excelente aislante térmico y acústico de fibra de cáñamo, además de regulador de la humedad. Adecuado para relleno de cámaras entre medianeras, planchas aislantes para fachadas y cubiertas y techos acústicos. Proporciona además protección mecánica para láminas impermeables.

Características técnicas ISOLGREEN® CÁÑAMO			
Referencia	Isolgreen®		Tolerancia
	HA 40	HA 100	
Composición	80% Cáñamo - 20% Poliéster		± 5%
Espesor (mm)	40		± 10%
Peso (gr/m ²)	1200		± 10%
Densidad (Kg/m ³)	30		± 5%
Conductividad térmica λ (W/mK)	0,039		≤0,039 W/mK*
Resistencia térmica (Km ² /W)	1,025		---
Temperatura de inflamabilidad (°C)	250		± 10°C
Capacidad higroscópica	Hasta el 15% de su peso		± 5%
Permeabilidad al vapor de agua (μ)	1 a 2		± 1%

* Los datos de conductividad y resistencia térmica, pueden variar debido a la tasa de humedad, la temperatura, los métodos de ensayo, etc.

FORMATOS			
Referencia	Isolgreen®		Tolerancia
	HA 40	HA 100	
Bobinas: longitud (m)	10	7	± 1%
Bobinas: ancho (m)	0,6	0,6	± 1%
Paneles: (m x m)	1.2 x 0.80	1.2 x 0.80	± 1%

Gráfica de absorción acústica



Aislante cáñamo - CANNABRIC

TABLERO AISLANTE DE CAÑAMIZA

Los paneles 350 y 700 pueden utilizarse como panel de cerramiento para aplicaciones donde se requieran prestaciones acústicas y térmicas.

Panel aislante cañamiza				
Tipo		350	700 (con arcilla)	1000
Formatos (mm)		600 x 1200		
Composición				
Espesores (mm)		25, 30, 40, 50, 60	22	10 – 12,5 – 15 – 20
Densidad (kg/m ³)		350	700	1000
Contenido humedad residual		8 – 10%	9 – 11%	9 – 11%
Acabado superficial		sin lijar		
Tolerancia de espesor		±2 mm	±2 mm	±2 mm
Tolerancia dimensional		Largo/ancho ± 2 mm / diagonal < 3 mm	Largo/ancho ± 2 mm / diagonal < 3 mm	Largo/ancho ± 2 mm / diagonal < 3 mm
Clase de reacción al fuego	EN 13501 – 1	C, s1 – d0	B, s1 – d0	B, s1 – d0
Aislamiento acústico		consultar		
Factor de resistencia a la difusión del vapor de agua	EN 12572	μ = 6,6	μ = 12,3	μ = 23,3
Absorción tras 24h bajo agua	EN 12087	1	0,555	0,248
Hinchazón tras 24h bajo agua	EN 317	< 5% (2,7%)	< 8% (6,1%)	< 5% (2,9%)
Conductividad térmica	EN 12667	l = 0,09 W/mK	l = 0,129 W/mK	l = 0,165 W/mK
Coefficiente de dilatación térmica	ASTM E228	- 66 10 – 6 K – 1	- 60 10 – 6 K – 1	- 37 10 – 6 K – 1
Nivel de formaldehído		Libre	Libre	Libre
Color estándar		Beige/ tono natural	Beige/ tono natural	Gris/beige/ tono natural
Solicitud perpendicular al plano del tablero				
Resistencia a la compresión (N/mm ²)	EN 310	1,1	1,5	10,4
Resistencia a la flexión (N/mm ²)	EN 826	1,4	2,5	6,9
Módulo de elasticidad a flexión (N/mm ²)	EN 310	292	442	2.455
Resistencia a la extracción del tornillo				
Perpendicular a la cara (N)	EN 320	337	684	1.059

CAÑAMIZA GRANULADA CANNAHABITAT®

Agregado compuesto exclusivamente por cañamiza resultante del desfibrado del tallo del cáñamo, destinado al relleno suelto (en muros con cámara y cubiertas) y para la producción de morteros, hormigones de cáñamo y revocos de cal y cáñamo.

Características técnicas de Cannahabitat®	
Descripción	En forma de partículas planas y alargadas de dimensiones variables de 2 – 25 mm (granulometría normal) o bien de 2 – 15 mm (granulometría especial)
Embalaje	Normal: sacos voluminosos de 20 kg del material compacto (palets de 24 sacos; 0,80m x 1,20m x 2,80m); especial: sacos voluminosos de 14 kg del material compacto (palets de 12 sacos; 0,80m x 1,20m x 0,90m)
Aplicación	<p>Los morteros de cáñamo tienen aplicaciones muy variadas siendo sus posibilidades de aplicación de gran amplitud, tanto en la rehabilitación como en la nueva construcción:</p> <p><u>Granulometría normal:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> – como relleno suelto (en muros con cámara y cubiertas) – para elaborar morteros aislantes (para soleras, entreplanta, cubiertas, cúpulas, bóvedas, como revoco, relleno en paredes con cámara o paredes con desperfectos...) <p><u>Granulometría especial:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> – para revocos finos con cualidades aislantes
Composición	<p>Agua: 9 – 10% Material seco: 90 – 91%, del cual: Material orgánico total: 95 – 98%, del cual: Celulosa bruta: 45 – 55% Lignina: 15 – 25% Hemicelulosa: 15 – 20% Minerales:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Calcio: 1,5 – 3% – Magnesio: 0,006 – 0,02% – Fósforo: 0,2 – 0,5% – Potasio: 0,2 – 0,5% – Nitrógeno total: 0,4 – 1% – Carbono: 487 g/kg – C/N: 46 – Cenizas: 2 – 5% <p>PH en suspensión a 10%: 7,2</p>



Propiedades físicas	
Masa	+/- 110 kg/ m ³ (según humedad ambiental)
Conductividad térmica	0,048 W/ m·K
Calor específico	2.109 J/ g·K [°]
Inercia térmica	232 kJ/ m ³ ·K [°]
Poder calorífico inferior	3.715 cal/ g
Poder calorífico superior	4.055 cal/ g
Poder absorbente	210 – 250% (norma francesa NFV 19002)
Poder absorbente de los elementos minerales	24 meq/ 100g en bruto
Capacidad de retención de agua	415% (ensayo de Westinghouse)
Características microbiológicas	Flora total: 5.760.000 ufc/g Microbiológicas: Levaduras: 136.000 ufc/g Gérmenes anaerobios: 8.000 ufc/g Bacterias lácticas: 5.700 ufc/g

CERTIFICACIONES CANNABRIC

Sello de Construire en Chanvre (CenC).



Subproductos del arroz



Introducción

Con el fin de reducir emisiones de gases de efecto invernadero debido al tratamiento habitual que se realiza a los subproductos del cultivo del arroz, y teniendo en cuenta los criterios de sostenibilidad y economía verde y circular, dentro del proyecto, **LIFE RenaturalNZE** se evalúan distintos aprovechamientos de la paja de arroz y de la cascarilla de arroz en el sector de la construcción. La finalidad es avanzar hacia el objetivo de residuos cero.

En términos de producción total, el arroz es el tercer cultivo de cereales más importante del mundo por detrás del trigo y el maíz (Binod *et al.*, 2010). La producción anual de arroz genera una gran cantidad de residuos lignocelulósicos, como la paja y la cáscara de arroz. La práctica más común para el tratamiento de estos residuos ha sido su quema en campo abierto, provocando la emisión a la atmósfera de contaminantes peligrosos para la salud humana, responsables además del calentamiento global (Mirmohamadsadeghi & Karimi, 2020). Por este motivo, se hace necesaria la búsqueda de una alternativa para aprovechar estos residuos.

Dentro de los muchos sectores entre los que se puede encontrar

un uso, la construcción es el que posee mayor potencial, ya que consume muchos recursos naturales (Hidalgo Astudillo, 2018). Por un lado, el elevado contenido en sílice de las cenizas de la paja y la cáscara de arroz hacen aptos a estos materiales para su uso en sistemas cementicios. Por otro lado, la baja conductividad que presentan ambos residuos hace factible su uso como aislante, aunque esta aplicación se encuentre aún en vías de desarrollo.



El arroz

El arroz (*Oryza sativa* y *Oryza glaberrima*) es un cereal de primordial importancia para la alimentación humana, a la que se dedica el 95% de la producción, considerándose el alimento básico en la dieta de más de la mitad de la población mundial, especialmente en países subdesarrollados o en vías de desarrollo. Su origen se sitúa en Asia, probablemente en la India, hace más de 10.000 años, si bien fue en China donde comenzó su cultivo y domesticación. De Asia pasó a Europa oriental sobre el año 800 a. C., llegando a

España con la invasión musulmana y difundiéndose desde aquí a la Europa mediterránea y más tarde al continente americano (MAPA (Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación), 2021).



Es uno de los cultivos más extendidos a nivel mundial, el área total en la que se cultiva el arroz es de aproximadamente 163 millones de hectáreas, el 88% de cultivo se encuentra en Asia (Moreno-García *et al.*, 2017). La producción mundial de arroz asciende a unos 618 millones de toneladas por año (Rahimi-Ajdadi *et al.*, 2018). En territorio europeo, la mayoría de las áreas de cultivo de arroz se encuentran en los países mediterráneos. La superficie total cosechada en Europa es aproximadamente de unas 642.000 ha, extendiéndose principalmente por Italia y España (Moreno-García *et al.*, 2017).

A nivel nacional, la superficie dedicada al cultivo del arroz en 2018 se situó en unas 105.000 ha y la producción en 808,2 mil toneladas, con lo cual el rendimiento asciende a aproximadamente 7,7 tn/ha. Andalucía con el 45% de la producción y Extremadura con el 20% fueron las grandes productoras en 2018 (MAPA (Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación), 2021).



Subproductos del arroz

El arroz es el cultivo que produce la mayor cantidad de residuos a nivel mundial (Nakhshiniev *et al.*, 2014). En las distintas etapas del proceso de producción del arroz, desde su cultivo hasta su industrialización, se generan como residuos sólidos: la paja, los residuos de la molienda del grano (cáscara y salvado) y las cenizas (Moraes *et al.*, 2014). Según Sushil Pandey *et al.*, los subproductos más importantes son la cáscara y la paja de arroz

(Pandey *et al.*, 2010), sin embargo permanecen prácticamente inutilizados (Matías *et al.*, 2019). El alto contenido de minerales es una de las principales limitaciones para su uso como alimento animal, además de su alto contenido en lignocelulosa (Vadiveloo *et al.*, 2009).



Se están realizando esfuerzos para desarrollar usos económicos y socialmente aceptables para los residuos agrícolas y, como revisan Moraes *et al.*, se puede hacer uso de todos los materiales del ciclo de producción del arroz (Moraes *et al.*, 2014). Con lo cual, se puede considerar que el arroz es una gran fuente de biomasa residual.

En la actualidad en Extremadura, la cascarilla y la paja se emplean fundamentalmente como cama en explotaciones ganaderas y, ocasionalmente, como biocombustible sólido para producción de electricidad. Sin embargo, este último uso no está muy extendido debido a su alto contenido en cenizas con elevada proporción en sílice. Precisamente este contenido en sílice (90% aprox.) hace interesante su aplicación en el ámbito de la bioconstrucción.

Cáscara de arroz

El grano de arroz se compone principalmente de endospermo y germen. Durante el crecimiento del arroz, se produce el desarrollo de la cáscara como recubrimiento o capa protectora de los granos.

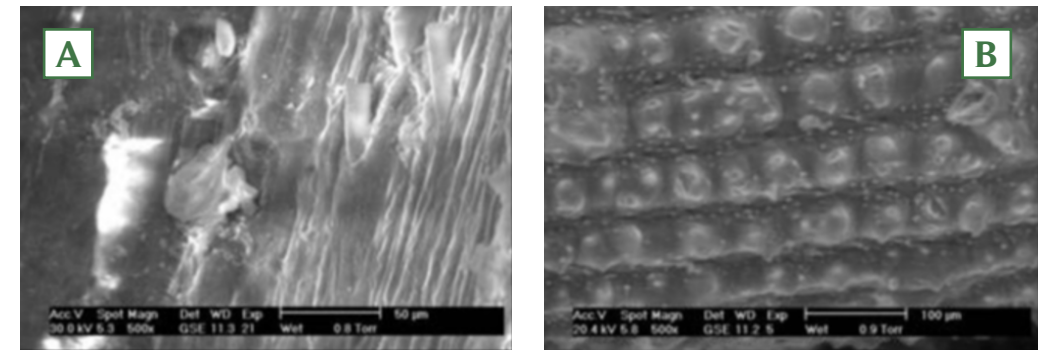
La cáscara o cascarilla se obtiene en la transformación en industria para obtener arroz blanco, se corresponde con aproximadamente el 20% del peso del arroz en grano (Angladette, 1969; Beagle, 1978; Hossain *et al.*, 2018; Parrillo *et al.*, 2021). Es una fibra corta que recubre el grano para protegerlo del ambiente, que aparece en el proceso de molienda de este cultivo. La longitud de la fibra varía entre 5 y 11 mm en función de la especie considerada.



Cáscara de arroz, GST HBK CCO

COMPOSICIÓN QUÍMICA

La cascarilla de arroz es un tejido vegetal lignocelulósico, constituido por un 85% de material orgánico similar al de la mayoría de las fibras orgánicas, conteniendo celulosa, hemicelulosa, lignina, compuestos nitrogenados, lípidos y ácidos orgánicos (Krishnarao *et al.*, 2001). La celulosa y la hemicelulosa constituyen la mayor parte de los hidratos de carbono presentes en la cáscara de arroz. La proporción de celulosa varía entre el 28% y el 49%, y la de hemicelulosa entre el 16 y el 22%. La lignina da rigidez a la estructura de la cáscara y se concentra en sus paredes celulares, su proporción varía entre el 19 y el 25% (Tello Saavedra *et al.*, 2014).



Fotografía MEB de la cascarilla de arroz. A) Superficie externa; B) Superficie interna, Arcos *et al.*, 2007

Los componentes inorgánicos se determinan a partir de la ceniza de cáscara de arroz. Es substancialmente diferente de las cenizas de otras fibras orgánicas, ya que posee un elevado contenido en sílice, pudiéndose encontrar en la ceniza resultante, un porcentaje superior al 90%, lo que la convierte en una fuente potencial de sílice (Ospina *et al.*, 2009). Debido a su alto contenido en sílice, se considera a la cáscara de arroz apta para su uso en sistemas cementicios, tal y como se ha demostrado en un gran número de investigaciones (Baeza *et al.*, 2014; Khan *et al.*, 2012; Rodríguez De Sensale, 2010).



PROPIEDADES

Su densidad es baja, por lo que ocupa grandes volúmenes ya que su peso específico es de 125 kg/m^3 (Varón Cemargo, 2005).

La cáscara de arroz tiene una dureza de 6 en la escala de Mohs, por tanto, es un material que tiene propiedades altamente abrasivas, es decir, por su elevada dureza y estructura es capaz de producir por acción mecánica, un desgaste sobre materiales menos duros.

Su bajo coeficiente de conductividad térmica permite suponer su utilidad como componente de sistemas de aislamiento térmico, tal y como se puede apreciar al comparar la conductividad térmica de la cascarilla de arroz y algunos aislantes comerciales.

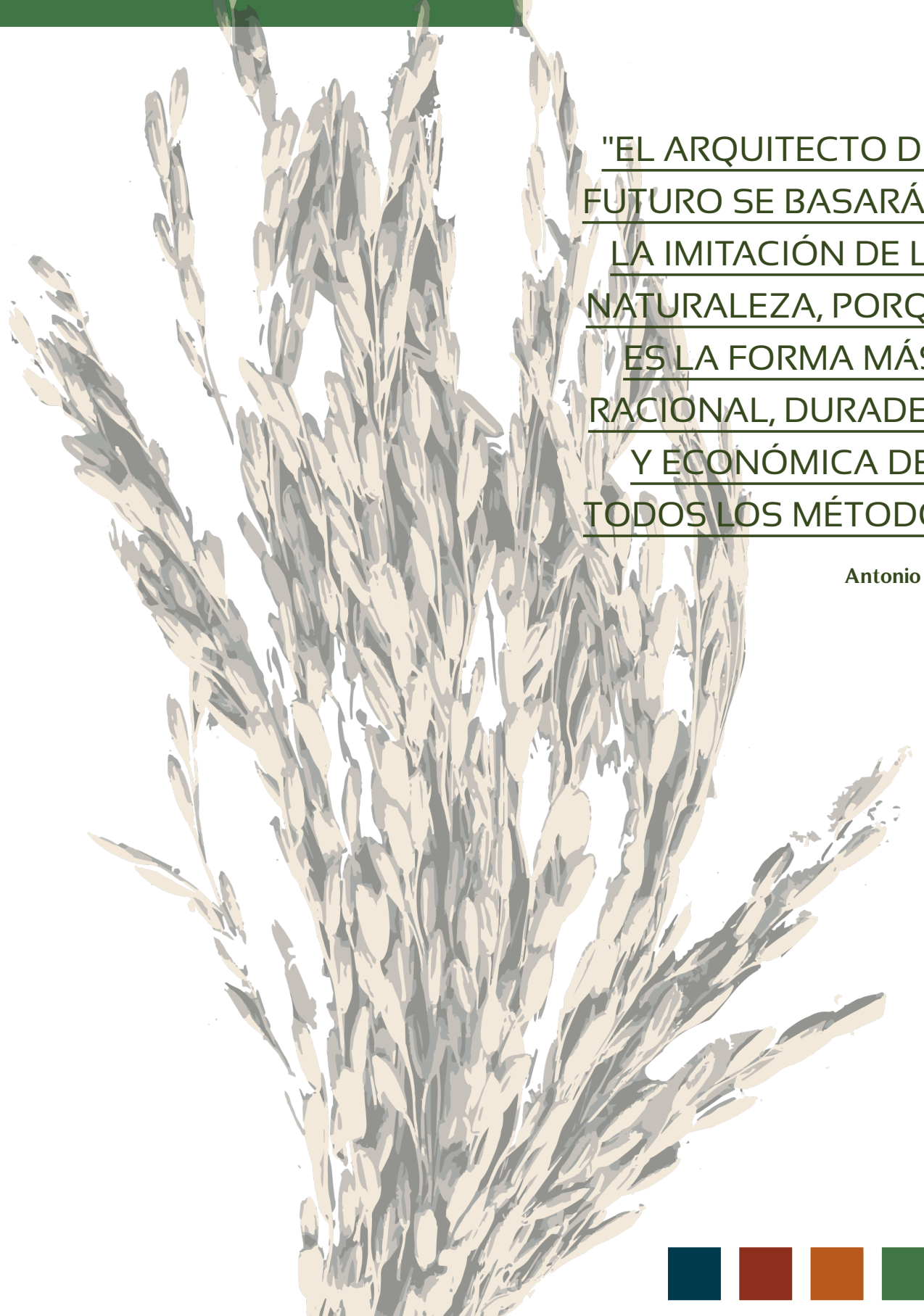
Material	λ (W/m·K)
Lana mineral	0,0303
Poliestireno expandido	0,0330
Cáscara de arroz	0,0360
Fibra de vidrio	0,0380
Corcho aglomerado	0,0405

Conductividad térmica, Cadena & Bula, 2002

Esta fibra presenta un comportamiento ignífugo, es decir, que no inicia fácilmente la combustión y no produce llama mientras se quema. Es posible que este aspecto se deba a que es la fibra con mayor contenido de minerales, así como también a su alta concentración de silicio. Esta alta concentración de silicio convierte a la cáscara de arroz en un material de muy baja degradabilidad, se ha demostrado que muy pocos organismos vivos se nutren de ella y por tanto, persiste y se acumula en el ambiente natural (Prada - Matiz & Cortés Castillo, 2010). La transformación de las propiedades físico-químicas de la cáscara comienza por encima de los 750°C , lo cual le garantiza un amplio rango de estabilidad térmica (Cadena & Bula, 2002).

"EL ARQUITECTO DEL FUTURO SE BASARÁ EN LA IMITACIÓN DE LA NATURALEZA, PORQUE ES LA FORMA MÁS RACIONAL, DURADERA Y ECONÓMICA DE TODOS LOS MÉTODOS"

Antonio Gaudí



ESTUDIOS PRELIMINARES DE APLICACIONES CONSTRUCTIVAS

Aislamientos

Las propiedades termoaislantes de la cascarilla de arroz se han utilizado de manera artesanal desde hace mucho tiempo (Serrano *et al.*, 2012; Sisman *et al.*, 2011). Debido a ello, se han generado iniciativas encaminadas a aprovechar esta propiedad natural en el desarrollo de nuevos materiales con aplicaciones industriales, que sin embargo han buscado aligerar el peso de los materiales de construcción antes de convertirse en materiales aislantes. Se han encontrado varias investigaciones en las que se

utiliza la cascarilla de arroz para el desarrollo de aislantes térmicos.

Una de ellas, llevada a cabo por Carolina Cadena y Antonio Bula (Cadena & Bula, 2002), proponía desarrollar nuevos materiales para aislamientos térmicos a partir de cascarilla de arroz y fibras vegetales determinando su conductividad térmica según la norma ASTM C-177. Los resultados obtenidos para las distintas composiciones se muestran en la siguiente tabla.

Muestra/Material	K (W/m·K)
Cascarilla, almidón de yuca, fibra yuque y banano	0,0965
Cascarilla, PVA, fibra de banano	0,2117
Cascarilla, almidón y fibra de yuca, fibra de fique	0,0901
Cascarilla almidón de yuca, fibra banano y fique	0,0653

Conductividad térmica, distintas composiciones, Cadena & Bula, 2002

Al analizar los resultados de las distintas muestras, es posible obtener valores competitivos de conductividad térmica para aplicaciones en el área de los aislamientos. Tales valores de conductividad les permiten competir con otros materiales aislantes presentes en el mercado. Además, se comprobó

que el material mantenía sus características ignífugas, por lo que podría competir contra aislantes sintéticos. Esto quiere decir que es un potencial aislante seguro, sustentable y ecológico.

En otro estudio se aglomeró cascarilla de arroz usando almidones con el fin de obtener

un material con estabilidad física adecuada, sin afectar su capacidad aislante. Para ello, se desarrolló un proceso que integró *Saccharomyces cerevisiae* como elemento productor de porosidades en el material. De los análisis realizados se pudo extraer que el material presentaba valores de conductividad térmica del mismo orden de magnitud que el poliestireno expandido y el corcho, una resistencia a la flexión mayor al poliestireno y similar al corcho, baja biodegradabilidad y resistencia a la temperatura (Gutiérrez-M.D. *et al.*, 2014).

Uso de cenizas como material puzolánico

Un uso importante de la ceniza de cáscara de arroz es como puzolana, que es un material finamente dividido que en presencia de agua reacciona con el hidróxido de calcio liberado por la hidratación del cemento Portland para formar hidrato de silicato de calcio y otros compuestos cementantes (Ye *et al.*, 2014).



Ceniza de biomasa, <https://fundaciondescubre.es/>



Paja de arroz

La paja es el residuo que queda en campo tras la cosecha del arroz. Se estima que la cantidad que se puede cosechar es de unas 5-6 toneladas por hectárea (Ribó *et al.*, 2017). Sin embargo, esta relación puede oscilar entre 0,5-1,0 tn paja/tn de grano de arroz, en función de la variedad y la zona (Matías *et al.*, 2015). Es un material lignocelulósico fibroso típico de la mayoría de los residuos agrícolas. Sin embargo, se distingue de otros residuos por su alto contenido en dióxido de silicio (Moraes *et al.*, 2014).

La paja de arroz es uno de los subproductos más problemáticos de eliminar durante la cosecha. El destino que tradicionalmente se le ha dado a esta paja ha sido la quema. Los agricultores consideran que esta práctica favorece la destrucción de las esporas de hongos, algunas bacterias y semillas de malas hierbas. Además, facilita la reincorporación al suelo de nitrógeno, fósforo, potasio y sílice (Navarro, 2008). Sin embargo, esta práctica genera una gran concentración de emisiones al aire de dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) y trazas de: óxidos de nitrógeno (NO_x), óxidos de azufre (SO_x), hidrocarburos, etc., que provocan la contaminación del lugar y las zonas aledañas (Abril *et al.*, 2009).

Tratamiento paja de arroz: quema, <https://www.lavanguardia.com>



Otra alternativa es la incorporación directa de la paja en el suelo, conocida como fanguero. Esta práctica también está limitada, ya que puede causar ciertos problemas agronómicos como la inmovilización temporal de nutrientes y la consiguiente reducción del rendimiento del cultivo (Yadvinder-Singh *et al.*, 2005).



Tratamiento paja de arroz: fanguero, <https://www.diariodesevilla.es/>

Junto con la quema y la incorporación de la paja al terreno, otra alternativa que se ha desarrollado en los últimos años ha sido la retirada de la paja de los campos de arroz para darle un nuevo uso. Por ello, el embalaje de la paja de arroz por medio de empacadoras convencionales adaptadas mecánicamente para poder atravesar los arrozales daría una salida dentro del mercado a la paja.



Tratamiento paja de arroz: recogida, Balingbing *et al.*, 2020



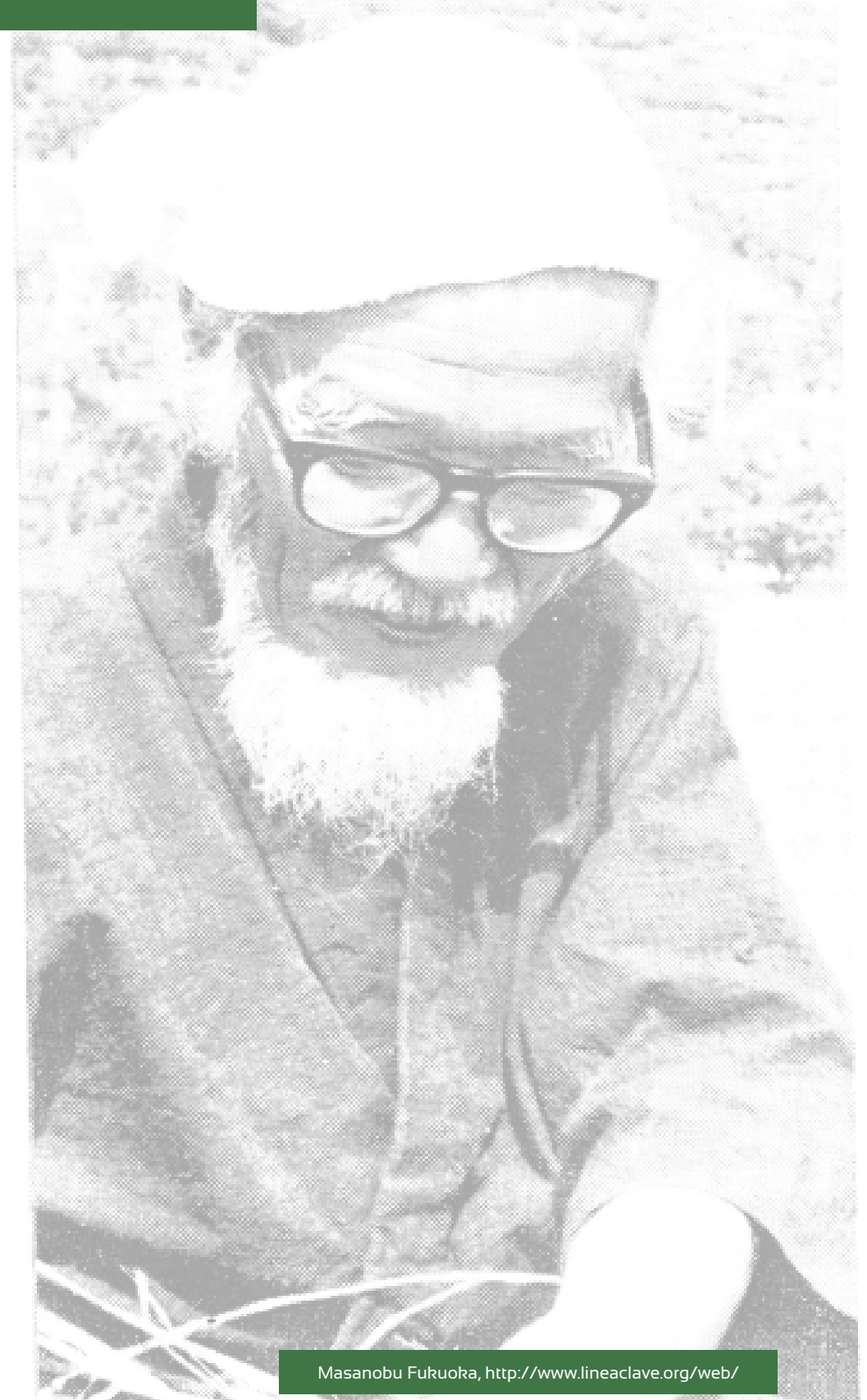
COMPOSICIÓN QUÍMICA

Al igual que en el caso de la cáscara de arroz, la paja contiene una combinación de **celulosa, hemicelulosa y lignina**, con una presencia abundante de sílice y otros componentes minoritarios. Sin embargo, esta combinación puede variar en función de la estación, la región y la especie de arroz (Binod *et al.*, 2010). Así el contenido de estos compuestos puede oscilar entre: celulosa (32,0 – 38,6%), hemicelulosa (19,7 – 35,7%), lignina (13,5 – 22,3%) y cenizas (10 – 17%) (Mirmohamadsadeghi & Karimi, 2020).

En cuanto al contenido en cenizas, puede extraerse que el componente mayoritario es sílice. Según Kiran L. Kadam *et al.* la proporción de los distintos óxidos presentes en la ceniza de la paja de arroz es: 75% SiO₂, 10% K₂O, 3% P₂O₅, 3% Fe₂O₃, 1,3% CaO y una pequeña cantidad de Mg y Na (Kadam *et al.*, 2000). Al contrario que en el caso de la cáscara de arroz, el estudio de su comportamiento o uso en mezclas con cemento Portland cuenta con muy poca bibliografía.

"CREO QUE ESTA BRIZNA DE PAJA PUEDE ORIGINAR
UNA REVOLUCIÓN.
A PRIMERA VISTA ESTA BRIZNA DE PAJA DE ARROZ
PUEDE PARECER LIGERA E INSIGNIFICANTE.
DIFÍCILMENTE ALGUIEN PUEDE CREER QUE PUEDE
SER EL ORIGEN DE UNA REVOLUCIÓN...
PARA MÍ ESTA REVOLUCIÓN ES MUY REAL"

Masanobu Fukuoka



Masanobu Fukuoka, <http://www.lineaclave.org/web/>



PROPIEDADES

Tras una búsqueda bibliográfica, no se han encontrado estudios sobre las propiedades de la paja de arroz en el sector de la construcción. Sin embargo, en el marco del proyecto **LIFE RenaturalNZE** se llevaron a cabo una serie de ensayos para caracterizar los distintos materiales naturales, se obtuvo así, un coeficiente de **conductividad térmica para la paja de arroz de 0,051 W/m·K.**

ESTUDIOS PRELIMINARES DE APLICACIONES CONSTRUCTIVAS



Cenizas como material puzolánico en morteros y hormigones

Como en el caso de la cáscara de arroz, teniendo en cuenta su alto contenido en sílice se han llevado a cabo diversos estudios sobre el empleo de la ceniza de cáscara de arroz como sustituto del cemento en morteros y hormigones, obteniendo unos resultados bastante aceptables que hacen de este material una buena alternativa para el desarrollo de morteros y cementos (Munshi *et al.*, 2013; Yong Sung *et al.*, 1998).



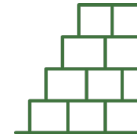
Aislamiento

Teniendo en cuenta la baja conductividad térmica de la paja de arroz, esta puede ser utilizada con otros componentes para el desarrollo de tableros o estructuras aislantes.



Hang-Seung Yan *et al.* publicaron un estudio en el que se fabricaron tableros compuestos de paja de arroz y madera utilizando el método empleado en la industria de tableros a base de madera. El material resultante tuvo un módulo de ruptura (MOR) superior al de la muestra patrón, únicamente fabricada con madera. Por otro lado, se mejoró la capacidad como aislante acústico (H. Yang *et al.*, 2003).

Hang-Seung Yan *et al.* fabricaron también tableros compuestos de paja de arroz y partículas de neumáticos de desecho para su uso como tableros aislantes en la construcción. Las propiedades de impermeabilidad, absorción de agua e hinchamiento fueron mejores que para los tableros de madera. Además, demostraron tener buenas propiedades como aislante acústico, eléctrico y antiputrefacción (H. S. Yang *et al.*, 2004).



Construcción con balas de paja

Las balas de paja de arroz pueden ser utilizadas en el sector de la construcción como aislante, para formar muros de carga o como material de relleno en muros de carga (Walker *et al.*, 2019). Las balas de paja se utilizan sobre todo para el aislamiento de paredes, pero pueden utilizarse también para aislar suelos y techos. La capacidad aislante de estas depende entre otras cosas de:

- Orientación de la paja dentro de la bala: si están orientadas paralelamente a la dirección del flujo, la conductividad térmica será mayor que al orientarlas perpendicularmente (Walker *et al.*, 2019).
- Humedad: la conductividad térmica aumenta con la humedad relativa (Walker *et al.*, 2019).
- Densidad: en cuanto a la densidad, los valores observados por Shea *et al.* para los datos de la conductividad no dependen de la densidad de la bala. Para una densidad de 120 kg/m³ la conductividad térmica fue de 0,064 W/m·K (Shea *et al.*, 2013).



Aspectos medioambientales

EMISIONES QUEMA DE PAJA DE ARROZ

Durante el año 2012 se generaron en la Unión Europea 2,6 mil toneladas de este residuo, lo que puede suponer unas emisiones de alrededor de 4,4 millones de toneladas de CO₂ al año (1,7 toneladas de CO₂ por tonelada de paja) debido a la quema de paja (Matías *et al.*, 2015).

Un estudio realizado por el departamento de Mecanización Agraria de la Universidad Politécnica de Valencia concluyó que por medio de la quema de la paja de arroz se producía una media de 2.625 Kg de CO₂ por hectárea de arrozal (Romans Torres, 2014).

Se puede determinar que con la retirada de la paja, aparte de dar valor a este residuo, se reducirían en gran medida las emisiones a la atmósfera de estos contaminantes.



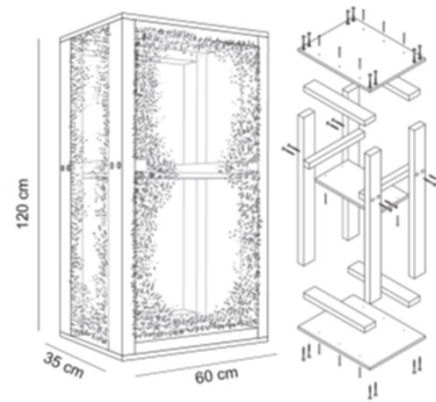
ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA. CONSTRUCCIÓN CON BALAS DE PAJA

Las edificaciones aisladas térmicamente con balas de paja poseen unos saldos negativos respecto a las emisiones de CO₂ en el proceso de construcción. Comparando y tomando como ejemplo la construcción con fardos de paja, para producirlos se necesitan unos 14 MJ/m³ de energía, mientras que la producción de lana mineral precisa unos 1.077 MJ/m³ lo que supone un consumo energético 77 veces mayor (Minke & Mahlke, 2006).

La construcción con fardos de paja puede tener un impacto medioambiental significativamente menor, en todo el espectro de categorías consideradas por el LCA (análisis de ciclo de vida), que los edificios convencionales. En comparación con un edificio convencional, un edificio construido con balas de paja puede reducir en torno al 40-60% el potencial de calentamiento global (Walker *et al.*, 2019), es decir, la fabricación y puesta en obra de materiales naturales, como las balas de paja, supondrían una reducción de emisiones contaminantes en este porcentaje.

ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA. MÓDULOS PREFABRICADOS DE PAJA

En un estudio de análisis de ciclo de vida (LCA), se compararon dos fachadas: una de ladrillo convencional y un panel de paja, en el que la paja se comprime y se aloja dentro de un marco de madera.



Dimensiones del panel de paja y diseño del marco, Quintana-Gallardo *et al.*, 2021

En primer lugar, se evaluaron las propiedades acústicas y térmicas de las tipologías de fachadas. En segundo lugar, se realizó un análisis comparativo del ciclo de vida para evaluar su impacto medioambiental.

El LCA, realizado con la metodología de la huella ambiental, indica que la fachada de paja de arroz tiene un menor impacto en el medioambiente, emitiendo un 78% menos de CO₂ que la tipología de referencia. Además, si se restan las emisiones de la quema de la paja o de la incorporación de paja al suelo, cada m² de fachada de paja de arroz evita la emisión de 18,85 kg de CO_{2e} y 52,64 kg de CO_{2e}, respectivamente (Quintana-Gallardo *et al.*, 2021).

El aislamiento acústico medido es similar en ambas fachadas, el índice de reducción acústica de la fachada de ladrillo es de 49 dB y el obtenido con la fachada de paja es de aprox. 47 dB. Ambos resultados cumplen con la normativa de construcción (Quintana-Gallardo *et al.*, 2021).

En cuanto al aislamiento térmico, el valor de transmitancia térmica medido para la fachada de paja de arroz es de 0,29 W/m²·°C, lo que duplica el de la tipología de referencia (0,629 W/m²·°C) (Quintana-Gallardo *et al.*, 2021).

Estos resultados indican que los paneles de paja de arroz pueden ser tanto una alternativa sostenible adecuada para la construcción en España como una solución viable a los problemas medioambientales causados por la mala gestión de la paja de arroz.





Campo de arroz en Vietnam

Obtención de la materia prima

En este apartado se diferencian el proceso de obtención de la cascarilla de arroz, que tiene lugar en fábrica, del proceso de obtención de la paja de arroz, que se realiza a nivel de campo.

Obtención de la cascarilla de arroz

De manera general para la producción de arroz blanco, el arroz grano cosechado va al secadero donde se lleva a una humedad inferior al 14% para su conservación. El siguiente paso a realizar en el procesado del arroz es el descascarillado, para obtener el arroz blanco. Como subproducto se obtiene la cascarilla, que presenta distintas posibilidades de aplicación.

Tomando como ejemplo una industria dedicada a la producción de arroz vaporizado, como es el caso de Extremeña de Arroces, sita en Miajadas (Cáceres), el proceso para obtención de cascarilla es el siguiente:

Inicialmente, el arroz procedente del campo, tras su cosecha, se introduce en una torre de limpieza para unificar tamaño. Posteriormente, se pasa a un autoclave con vapor directo y se realiza un secado ulterior hasta conseguir una humedad de aproximadamente el 12%. Seguidamente, el grano junto con la cáscara se introduce en una máquina de rodillos mediante la cual se separa la cáscara del grano. Tras esta separación, el arroz pasa por diferentes mesas densimétricas y filtros, mientras que la cáscara se recoge en una nave anexa.



Recogida de la paja de arroz

La recolección del arroz se realiza con cosechadora de cereales, encargada de separar el grano de arroz de la paja y adaptada a las condiciones del suelo con elevado contenido en humedad. Normalmente la cosechadora va provista de juego de oruga en lugar de las ruedas delanteras normales.

En España, generalmente, la recolección del grano tiene lugar entre los meses de septiembre y octubre. Durante la recolección, la máquina tiene la función de cortar toda la planta y ella misma hace la separación del producto. Por un lado, el grano sale por la chimenea de la cosechadora hasta los remolques encargados del transporte. Por otro lado, la cosechadora también tiene la finalidad de expulsar la paja sobre el terreno ya cosechado.

La paja de arroz se queda acordonada en gavilleros o bien a veces se ponen unos dispositivos como molinetes que dispersan la paja por igual sobre el terreno y facilitan su enterrado. En el caso de que se proceda a la recogida de la paja, esta se realiza con una empacadora de paja de cereal. Las máquinas de empacado pueden realizar el embalado directo en diferentes tamaños de alpacas, según vaya a ser su uso: construcción, ganadería, agricultura, etc.



Subproductos de la industria arrocera en construcción. Productos

Los productos y soluciones constructivas que tienen como materia prima los subproductos del arroz se presentan en diferentes formatos (alpacas, paneles, granel). En el presente capítulo del manual se presentarán los diferentes productos, junto con sus características y su proceso de fabricación, excepto en aquellos en los que no se ha podido acceder a dicha información:

- Balas de paja.
- Cáscara de arroz.
- Paneles aislantes de cáscara de arroz.
- Paneles aislantes de paja de arroz.

Balas de paja

Las principales características de las balas de paja que se deben considerar en la construcción son la densidad, humedad y orientación de las fibras. Por otro lado, para saber si presenta síntomas de descomposición, se ha de asegurar que no contenga grandes manchas oscuras, filamentos blancos o un fuerte olor a pudrición. Desde que se producen hasta su entrega, las balas de paja deben cumplir ciertos requisitos mínimos. La humedad del fardo no puede ser mayor al 20% y su densidad mínima ha de ser 80 kg/m³.

En cuanto a tamaños y dimensiones, existen diversas variedades. Una dimensión aproximada es de 100x45x36 cm. Sin embargo, el largo puede ser variable dependiendo del lugar del que proceda la paja, pero oscila entre 80 y 120 cm. En cuanto al peso y conductividad térmica, el valor estándar aproximado es de 18-20 kg y 0,039 W/m·K (Ricehouse, 2021).



Bala de paja estándar en Calgary Stampede, Sergei S. Scurfield CC-BY-SA 3.0

Además, comparado con otros cereales, la paja de arroz presenta una mayor resistencia a la putrefacción y formación de mohos, gracias a su composición química y a su alto contenido en sílice (Ricehouse, 2021).

La construcción con paja a día de hoy, sobre todo en el marco normativo en el que se encuentra España, precisa de una estructura auxiliar a la que confiar el peso de la combinación que no sea la paja misma, ya que no está contemplada en el Código Técnico de la Edificación. Por ello se puede combinar el cerramiento de paja con una estructura de madera, ya que su comportamiento no difiere mucho y entra dentro de las consideraciones ecológicas que se pretenden dentro del proyecto. El tipo de madera, si se necesita, estará determinado por el método constructivo que se elija.

Por último, como en cualquier otro tipo de muro, es necesaria la aplicación de un revoco, no solo como capa de protección contra los agentes atmosféricos sino que deberá trabajar ligado al funcionamiento del muro, potenciando sus cualidades y añadiendo mejoras en otros compartimentos.



Cáscara de arroz como relleno de aislante

La cáscara de arroz representa el subproducto agrícola que se deriva del proceso de molienda del arroz crudo. Su composición química es similar a la de la madera. Gracias a ella y al alto contenido en sílice, tiene una gran resistencia a la putrefacción y la formación de moho.

Es un material excelente para mejorar la eficiencia energética de los edificios. Su bajo valor de conductividad térmica le confiere una gran capacidad como aislante. Además, es extremadamente bueno en términos de aislamiento acústico.

Garantiza la transpirabilidad de las paredes, para evitar la condensación superficial y asegurar un excelente confort en los espacios habitados.

En principio, las aplicaciones previstas son como relleno de cámaras aislantes o de huecos en bloques de muro, aplicándose mediante técnicas de insuflado o vertido.



Relleno de pared con cáscara de arroz, Ricehouse, 2021

Panel aislante de cáscara de arroz

Dentro de este tipo de producto, atendiendo a su composición, se han podido encontrar dos variantes:

- **Panel aislante termo-acústico**
Compuesto por cáscara de arroz y un ligante natural, libre de formaldehído. Este producto está diseñado para su uso como aislante en interiores, pero no como elemento estructural. Se caracteriza por ser un producto con bajo impacto medioambiental, con una excelente resistencia al agua y al fuego.

- **Panel aislante térmico de arcilla**

Compuesto por una mezcla de cáscara de arroz, arcilla y un ligante natural, libre de formaldehídos. Esta composición está especialmente diseñada para soluciones de revestimiento en seco de contramuros verticales y/o falsos techos.



Panel aislante termo-acústico, Ricehouse, 2021



Panel aislante térmico de arcilla, Ricehouse, 2021



Panel aislante de paja de arroz

Ambos productos, gracias a la perfecta simbiosis de materiales naturales, garantizan excelentes cualidades (Ricehouse, 2021):

- Regula la humedad interior.
- El aislamiento y el desfase térmico amplían la sensación de bienestar natural tanto en invierno como en verano.
- La alta transpirabilidad del material le permite absorber importantes cantidades de vapor de agua.
- Su porosidad genera un efecto fonoabsorbente que contribuye a aumentar el confort acústico.
- Buena adherencia y compatibilidad de rendimiento con todo tipo de mampostería.

Este producto aislante es de reciente aparición en el sector de la construcción, aparece como solución ante el grave problema medioambiental que supone la quema de la paja de arroz.

En lugar de destruirse en campo por falta de uso, esta fibra vegetal baja en carbono, intrínsecamente resistente gracias a su composición, se convierte en un recurso relevante en la lucha contra el calentamiento global.

Este producto constructivo a base de paja de arroz puede encontrarse en el mercado en dos formatos diferentes:

Panel aislante semi-rígido de paja de arroz

Compuesto principalmente por paja de arroz (92%), unidas entre sí por fibras termofusibles (fibra de poliéster) para formar una estera de grandes dimensiones, que posteriormente será dimensionada. Este producto ofrece: rendimiento térmico en invierno y en verano, confort acústico en cuanto a absorción y atenuación se refiere, fácil de cortar e instalar y aislamiento duradero en el tiempo. Puede ser utilizado como aislante en paredes interiores y en cubiertas.



Panel aislante semi-rígido de paja de arroz, FBT Isolation, 2021

Panel aislante de paja de arroz con placas reflectantes

Compuesto por un 92% de paja de arroz, unidas entre sí por fibras termofusibles. Además están cubiertas por dos láminas reflectantes fabricadas en PET metalizado microperforado. Ofrece una resistencia al paso del calor mayor que el producto anterior, panel aislante semi-rígido de paja de arroz. Puede ser instalado en áticos, paredes y cubiertas.



Panel aislante de paja de arroz con placas reflectantes, FBT Isolation, 2021



Soluciones constructivas

A continuación, se presentan las distintas soluciones constructivas que ofrecen los materiales expuestos previamente, en función del lugar que ocupan dentro de la vivienda.

La construcción con balas de paja tiene un apartado diferenciado dada su extensión y por contar con diferentes sistemas constructivos.



Balas de paja

Dentro de lo que son las construcciones con balas de paja, existen una gran variedad de metodologías constructivas, cada día con más variantes y mejoras que indican que este tipo de construcciones sostenibles están en auge y presentan un dinamismo basado en la continua investigación y mejora.

Todas estas tipologías constructivas dan lugar a resultados muy distintos y conceptos estructurales también muy diferentes. Como principal distinción encontramos las que consideran el muro de fardos de paja como autoportante, frente a aquellas que reciben la función estructural completa o parcialmente por parte de una estructura independiente, ejerciendo la paja como cerramiento exento (Martínez Sañudo, 2019; Romans Torres, 2014; Sánchez Martínez, 2017).



Casa de balas de paja ModCell, <https://www.strawbale.com/>



Muros de paja como elemento estructural (Nebraska)

Esta tipología pionera en la construcción con paja destaca por ser la más sencilla en lo que respecta a las construcciones con fardos de paja, por eso suele ser la más elegida para la autoconstrucción, por su sencillez y rapidez de ejecución, así como por su baja necesidad de recursos.

La principal característica de este método con muros portantes de paja es que todas las cargas de forjados y cubiertas son soportadas por los muros de carga, sin ningún marco estructural. El entramado de fardos y la fuerza del revoco soportan todo el peso de la cubierta y transmiten esas cargas a la cimentación.

No obstante, en nuestro país esta metodología queda por detrás de las demás soluciones constructivas con fardos de paja, debido a las dificultades que presenta el hecho de considerar la paja como elemento estructural, ya que el Código Técnico de la Edificación no contempla este material como tal. Así pues, las líneas de desarrollo e investigación referentes a la construcción con paja se han orientado más hacia sistemas mixtos con otros elementos colaborantes a nivel estructural.



Casa de balas de paja, <https://freedomfor.wordpress.com>



Estructura de postes y vigas, <https://www.sacyr.com/>

Estructuras con postes y vigas

Esta tipología constructiva está basada en una estructura de postes y vigas, de madera generalmente, que toman la función estructural, relegando la paja a función de cerramiento, terminación y aislamiento. Se adapta perfectamente al Código Técnico de la Edificación.

Este sistema constructivo permite infinidad de posibilidades, tantas como diseños posibles. Jugando con el reparto entre vigas y postes, cada diseño tendrá sus características y su conexión con el cerramiento de paja, ya sea dentro del mismo cerramiento, interior o exterior.

Este proceso de construcción dependerá de su diseño. Se pueden realizar pilares y vigas de mayor sección y reducir su número, o por ejemplo hacer postes con el mismo ancho que las balas de paja que permiten integrar el cerramiento en la estructura, utilizándola a su vez para estabilizar el muro de paja.

Una vez montada la estructura, se podrá ejecutar la cubierta creando así un espacio protegido a la hora de colocar las balas de paja. Seguidamente, se levantará el cerramiento con los fardos de paja según lo previsto, adaptándose a la estructura existente.

Por último, se protege la paja por medio de revocos. En este caso es importante prestar especial atención a los encuentros entre los cerramientos de paja y la estructura para evitar fisuras y grietas por el cambio del material.



Sistema GREB

Esta técnica consiste en la construcción de un entramado ligero de madera doble con listones de madera de 100x40 mm, que se disponen creando una cámara entre ellos que será ocupada por los fardos de paja. El hueco que queda entre las balas y la superficie de los listones (40 mm) se rellena mediante el vertido de un mortero ligero denominado GREB que tiene proporciones de: 1 cemento, 1 cal, 3 arena y 4 serrín. Este vertido se va haciendo por hiladas de fardos de paja, colocando un encofrado de madera atornillada a los listones hasta la primera hilada, y rellenando el hueco entre fardos y encofrado con el mortero aligerado GREB. Una vez realizado el vertido del mortero, este se vibra para que la mezcla se reparta homogéneamente, y se continúa con la siguiente hilada de fardos repitiendo el proceso hasta la terminación de los muros. Cuando el mortero ha fraguado se retira el encofrado atornillado a la estructura y los muros resultantes quedan perfectamente aplomados. Esta es una de las mayores ventajas de este sistema, ya que una vez retirado el encofrado de madera la planeidad de las superficies facilita el acabado final, que se puede realizar con revocos de todo tipo o utilizar otros materiales como puede ser la madera tanto en interior como en exterior.



1920

2011

Maison Feuillet, imágenes de 1920 y 2011,
Fondation du patrimoine



Representación de las fases constructivas mediante el
sistema GREB, Romans Torres, 2014



Células bajo tensión (Cut-cells under tension)

El sistema de células bajo tensión es un híbrido entre los sistemas donde la paja es un elemento estructural y aquellos en los que la estructura portante es independiente de la paja.

En este caso se combina una estructura de madera mucho más ligera que en el sistema de postes y vigas, y en su entramado se colocan las balas de paja. El entramado no es independiente a la paja, sino que va montándose a la vez que se colocan las mismas. Posteriormente, a las balas dentro de los listones se les cortan las cuerdas, con lo cual se expanden presionando los marcos de madera a su alrededor pasando a formar parte de la estructura. Por tanto, se entiende la paja como un elemento colaborante para resistir las cargas del edificio, reduciendo considerablemente la sección de madera.

La disposición de los montantes verticales de madera debe ser unos 5 cm menor que el largo del fardo ya comprimido, creando así una compresión horizontal adicional que permite la estabilización de los montantes verticales. Esta disposición de los elementos a modo "sándwich" permite reducir el espesor de los montantes de madera hasta los 3 cm pudiendo soportar las cargas que va a recibir

de forjados y cubiertas.

Antes de cortar las cuerdas de los fardos, una vez dispuestos entre los montantes, se deben solucionar las tensiones verticales. Para ello, se colocan dos listones de madera encajados en el fardo, uno a cada lado del montante vertical. Llegados a esta situación comprimen los listones sobre los fardos, para mantener la tensión vertical, mientras se atan los listones a los montantes mediante tornillos. Así pues, en este punto, la bala ejercerá la presión sobre los montantes y los listones, arriostrando la estructura "celda a celda". Por último, se procede a cortar las cuerdas de las balas de paja, consiguiendo que todo el sistema se estabilice.

Otro aspecto fundamental de este sistema, del que depende la calidad del revoco final, es la aplicación de una capa de imprimación o prerrevoco a base de barbotina (una mezcla de arcilla y agua que debe ser lo más líquida posible manteniendo la consistencia). Lo ideal es aplicarla antes de la colocación de los fardos en los muros y que penetre de 3 a 5 cm hacia el interior del fardo.

Una vez levantados los muros y antes de aplicar las distintas capas de revoco, se rellenan los huecos

que hayan podido quedar entre la madera y la paja con una mezcla de barbotina y fibras de paja. A continuación, se procede con la capa base que se forma con una mezcla de barbotina espesa, fibras de paja pequeñas, arena, serrín y un líquido fermentante. Por último, se revocarán las paredes con morteros de arcilla y cal, de la misma manera que en las demás tipologías.



Sistema constructivo CUT, Romans Torres, 2014



Vivienda unifamiliar realizada con sistema CUT (2009-2011) en Veghel, Países Bajos, Romans Torres, 2014



Sistema prefabricado modular

El sistema prefabricado modular es la última técnica en aparecer dentro del amplio abanico de posibilidades de la construcción con paja, fruto del desarrollo e investigaciones realizadas hasta nuestros días con este material.

Estos módulos prefabricados cuentan con la ventaja del control de calidad de producto que debe superar cualquier material industrial antes de comercializarse.

Por el contrario, una de las desventajas de este sistema prefabricado es el impacto que este proceso de industrialización puede suponer al medio ambiente en cuanto a consumo energético y emisiones de CO₂. Pero teniendo en cuenta las cualidades de la paja y de la madera, posiblemente la prefabricación de estos módulos seguirá teniendo un impacto medioambiental mucho menor que otros materiales de construcción.

Actualmente existen ya muchos tipos y formatos de módulos prefabricados. Estos sistemas ofrecen una amplia gama de opciones en cuanto al diseño. Todo esto añadido a las innegables cualidades de la paja como material de construcción, en cuanto a aislamiento térmico, comportamiento higrotérmico y aislamiento acústico, hacen de este sistema una verdadera alternativa frente a sistemas constructivos convencionales.

El sistema de módulos prefabricados de paja con estructura portante de madera tiene las ventajas constructivas de la fabricación: la rapidez de montaje *in situ*, calidad de acabados, seguridad en obra, etc.



Sistema prefabricado modular, <https://www.modcell.com/>

Sistema wrapping o de forrado

Más que una metodología constructiva, como su nombre indica el “wrapping” o envoltura es una manera de forrado de muros existentes con balas de paja para obtener mejores resultados de eficiencia energética, muy apropiadas en el caso de rehabilitaciones energéticas, aunque aportan un gran aumento de volumen en los muros. Se considera una opción muy económica para obtener grandes resultados de aislamiento térmico y, por tanto, reducción de consumo energético.



Wrapping, <https://strawbale.training/en/u4-wrapping/>

"LA SOSTENIBILIDAD TRATA
DE ECOLOGÍA, ECONOMÍA E
IGUALDAD"

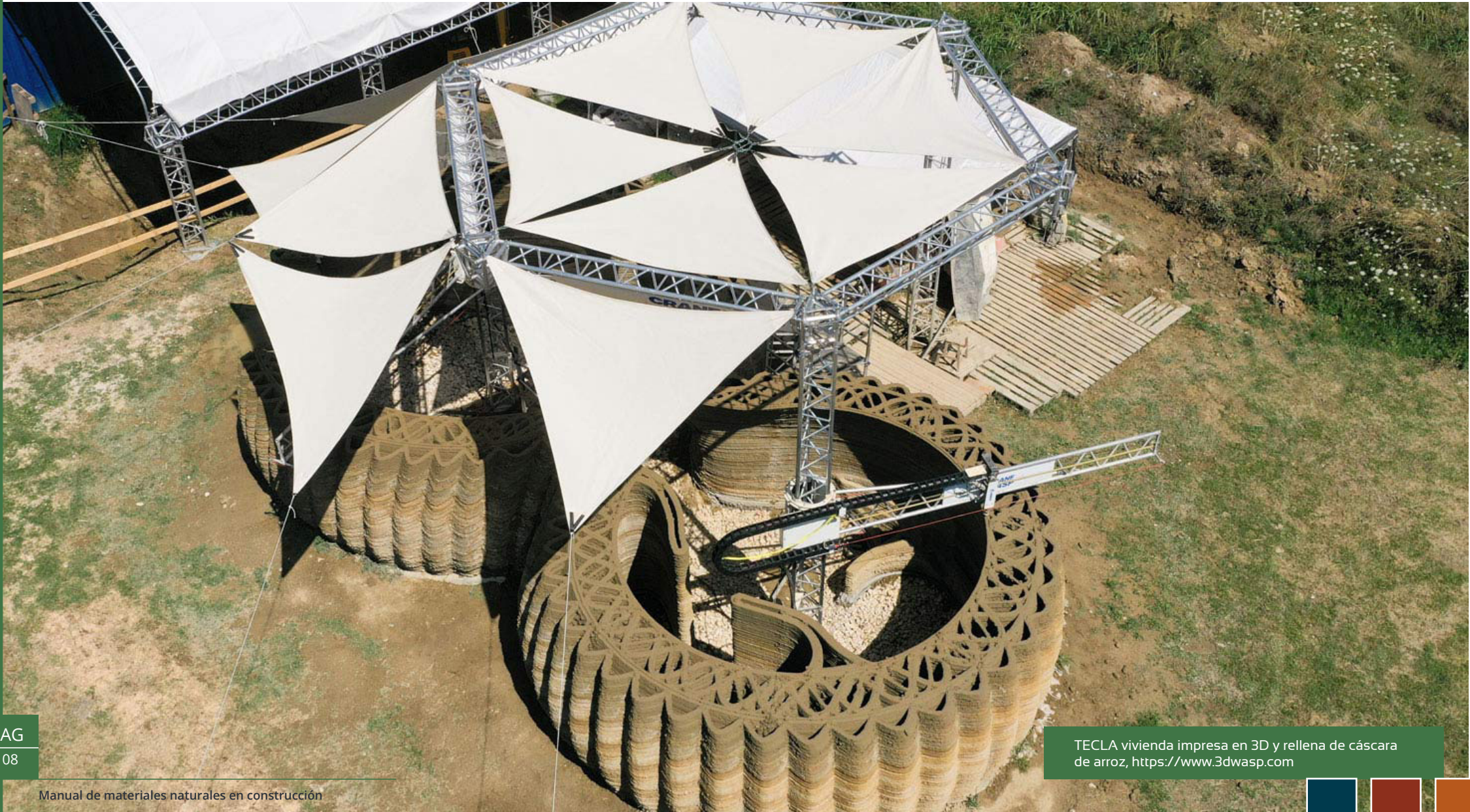
Ralph Bicknese



Cáscara de arroz Relleno

Un ejemplo de uso de este material sería como relleno en cámaras entre muros, forjados y cubiertas.

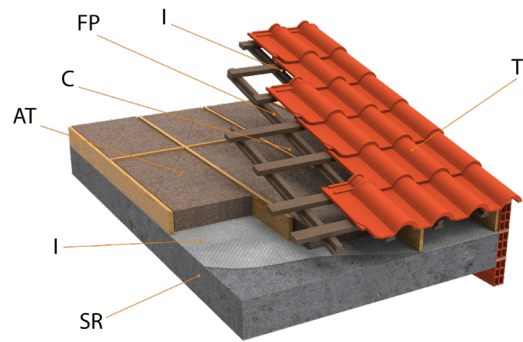
Los huecos han de permanecer secos y los elementos resistentes deben tener una correcta gestión de la presión de vapor, mediante el uso de materiales transpirables y membranas impermeables transpirables.



TECLA vivienda impresa en 3D y rellena de cáscara de arroz, <https://www.3dwasp.com>



Panel aislante cáscara de arroz Cubierta inclinada - Forjado horizontal

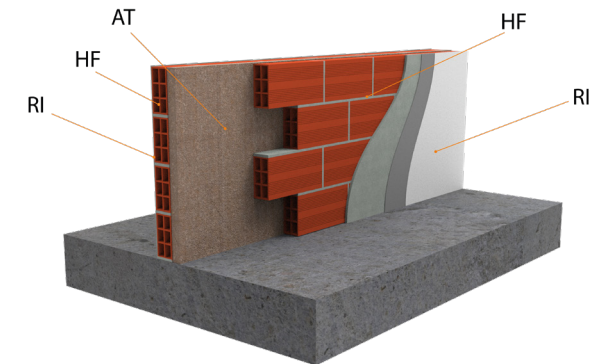


T: tejado
I: capa de impermeabilización
FP: formación de pendientes
C: cámara de aire ventilada
AT: aislante, panel cáscara de arroz
SR: soporte resistente

Forjado horizontal. Ventilada. Con capa de protección

El tejado actúa como capa de protección y puede ser de diversos materiales (teja, pizarra, placas). Formación de pendiente realizada por un soporte, de madera, cerámico u hormigón, posicionado por encima de la cámara de aire ventilada. El aislante se posiciona sobre el soporte resistente.

Panel aislante cáscara de arroz Particiones interiores verticales

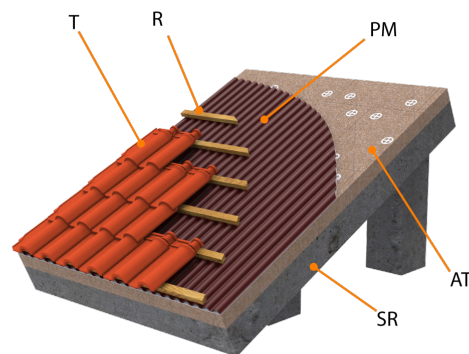


RI: revestimiento interior
HF: hoja de fábrica
AT: aislante, panel cáscara de arroz

Partición interior con apoyo directo. Elemento base de dos hojas

Elemento constructivo formado por dos hojas de fábrica (ladrillo o bloque de hormigón), junto con un revestimiento interior que puede ser alicatado o enlucido y una capa aislante intermedia.

Panel aislante cáscara de arroz Cubierta inclinada - Forjado inclinado



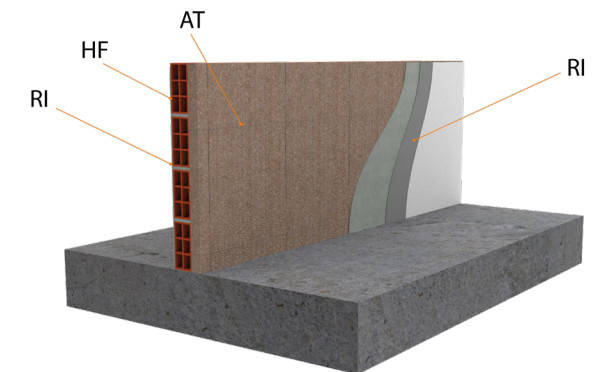
T: tejado
R: rastrel
PM: panel modular preformado
AT: aislante, panel cáscara de arroz
SR: soporte resistente

Forjado inclinado. No ventilada. Con capa de protección

El tejado actúa como capa de protección y puede ser de diversos materiales (teja, pizarra, placas). El soporte resistente define y forma la pendiente. La capa de protección se coloca sobre un soporte de rastreles sobre panel modular preformado.

Partición interior con apoyo directo. Elemento base de una hoja

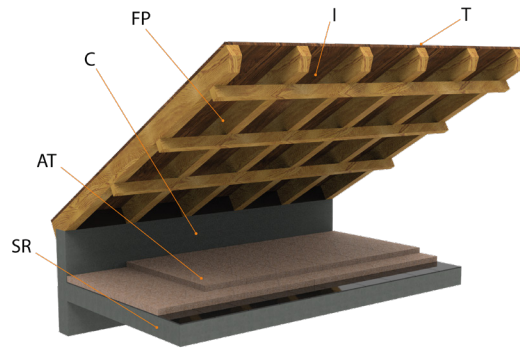
Hoja principal de fábrica (ladrillos cerámicos o bloque de hormigón) en la que el material aislante está junto a un revestimiento interior. El revestimiento interior está formado por un enlucido o alicatado.



RI: revestimiento interior
HF: hoja de fábrica
AT: aislante, panel cáscara de arroz



Panel aislante paja de arroz Cubierta inclinada - Forjado horizontal

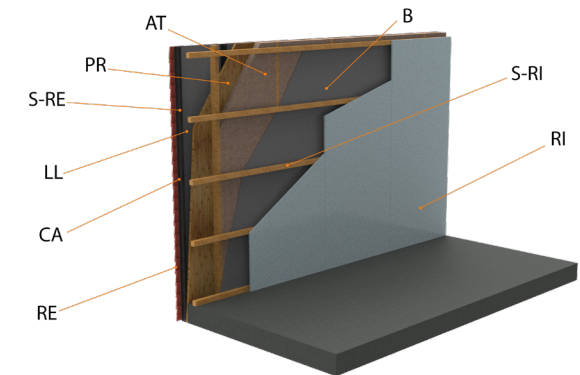


T: tejado
I: capa de impermeabilización
FP: formación de pendientes
C: cámara de aire ventilada
AT: aislante, panel paja de arroz
SR: soporte resistente

Forjado horizontal. Ventilada. Con capa de protección

El tejado actúa como capa de protección de diversos materiales (teja, pizarra, placas). Formación de pendiente realizada por un soporte de madera, cerámico u hormigón posicionado por encima de la cámara de aire ventilada. El aislante se posiciona sobre el soporte resistente.

Panel aislante paja de arroz Fachada - Aislamiento interior



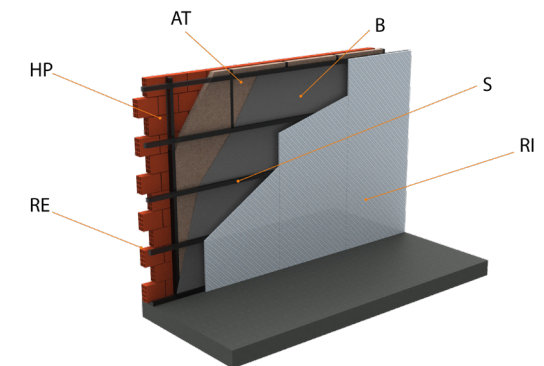
RE: revestimiento exterior
CA: cámara de aire
LL: barrera de lluvia
S-RE: soporte revestimiento exterior
PR: panel de refuerzo
AT: aislante, panel paja de arroz
B: barrera de vapor
S-RI: soporte revestimiento interior
RI: revestimiento interior

Fachada. Cámara de aire. Aislamiento interior. Hoja principal de madera

Cara externa formada por una hoja de madera. En el exterior de la pared se coloca una mampara contra la lluvia. El aislante se instala entre el panel de refuerzo y la barrera de vapor.

Fachada. Sin cámara de aire. Aislamiento interior. Hoja principal de fábrica

Cara externa formada por una hoja de ladrillos o bloques (cerámicos u hormigón). El aislante se inserta en un perfil metálico o de madera. La barrera contra el vapor, orientada al interior, está unida al aislante por un adhesivo. La capa final consta de un revestimiento interior anclado al soporte mediante una estructura metálica.

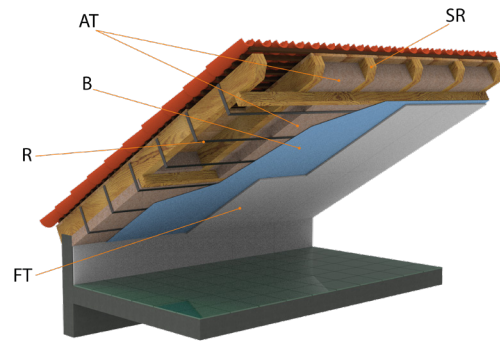


RE: revestimiento exterior
HP: hoja principal
AT: aislante, panel paja de arroz
B: barrera de vapor
S: soporte de acabado
RI: revestimiento interior



Panel aislante paja de arroz

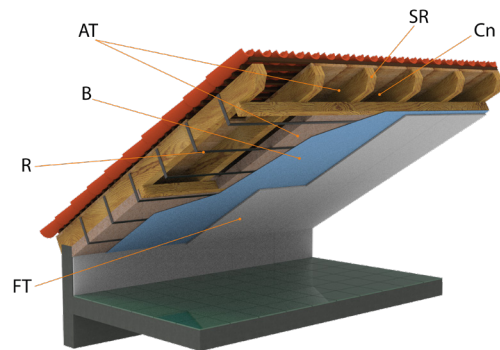
Falso techo



SR: soporte resistente
AT: aislante, panel paja de arroz
B: barrera de vapor
R: rastrel
FT: falso techo

Falso techo. Sin cámara de aire

El tejado, o forjado superior, actúa como capa de protección de diversos materiales (teja, pizarra, placas). Capa aislante en el entrecigado y encima del perfil que soporta el falso techo.



SR: soporte resistente
Cn: cámara no ventilada
AT: aislante, panel paja de arroz
B: barrera de vapor
R: rastrel
FT: falso techo

Falso techo. Con cámara de aire

El tejado, o forjado superior, actúa como capa de protección de diversos materiales (teja, pizarra, placas). Capa aislante por debajo del forjado, encima del perfil que soporta el falso techo.



Paneles prefabricados de paja alfaWall (Okambuva)

Okambuva, empresa española que ha desarrollado paneles prefabricados de paja para la construcción, aptos como elementos portantes y cerramientos que cumplen con los actuales estándares de eficiencia energética.

AlfaWall es un sistema de cerramientos para la construcción basado en un entramado ligero de madera, premontado, relleno con paja prensada. La paja y la madera actúan de manera estructuralmente solidaria, resultando un muro portante apto para construcción de viviendas.

Características generales	
Madera estructural	C24
Paja	Trigo, centeno y arroz
Densidad de la paja	120 kg/m ³
Humedad relativa	< 15%
Tornillería certificada	UNE-EN 10002-1
Peso máx. panel	250 kg
Volumen máx. panel	1 m ³
Eficiencia energética	
Transmitancia térmica (U)	AW 25-U 0,198 W/m ² ·°C AW 35-U 0,166 W/m ² ·°C
Conductividad térmica (λ)	0,067 W/m·°C
Aislamiento acústico	49 dB
Datos análisis ciclo de vida	
Energía primaria embebida (no renovable)	35 kW·h/m ²
Potencial calentamiento global	-46 kg CO ₂ eqv/kg
Potencial creación ozono fotoqco. (PCOP)	7,8·10 ⁻⁴ kg Ethen eqv/kg
Potencial acidificación (AP)	5,3·10 ⁻² kg SO ₂ eqv/kg
Potencial de eutroficación (EP)	4,1·10 ⁻² kg Phosphat eqv/kg
Potencial agotamiento ozono (ODP)	1,1·10 ⁻⁷ kg R11 eqv/kg

CERTIFICACIONES

Actualmente el producto no dispone de Declaración ambiental de producto (DAP), ni marcado CE, aunque es un producto conformado por elementos con su propio control de calidad. Sin embargo, dispone de un análisis de ciclo de vida (LCA) del producto (Quintana-Gallardo *et al.*, 2021).

Bloques de paja de arroz precomprimidos RH-P, Ricehouse

Ricehouse SRL es una empresa italiana dedicada a la arquitectura sostenible que comercializa productos constructivos a base de subproductos del arroz, como cáscara de arroz y paja de arroz.

RH-P son bloques de paja precomprimidos que se suministran en tamaños estándar (35x45x90-100 cm), y con un peso de entre 18 y 20 kg.

Características generales	
Conductividad térmica (λ)	0,039 W/m·K
Resistencia a la difusión del vapor de agua (μ)	3,09
Densidad	120 kg/m ³
Retraso térmico	23 horas
Calor específico	1900 J/kg·K
Transpirabilidad en el aire	995 Pa·s/m ²
Reacción al fuego (test EN 1365-1)	REI 120

CERTIFICACIONES

Aunque es un producto sin marcado CE, se puede utilizar en construcción, de acuerdo con las disposiciones del Decreto Legislativo italiano n. 106/2017 art. 5 párrafo 6. Este producto está sujeto a controles continuos para garantizar una calidad constante.



Cascarilla de arroz aislante RH-L, Ricehouse

Ricehouse SRL es una empresa italiana dedicada a la arquitectura sostenible que comercializa productos constructivos a base de subproductos del arroz, como cáscara de arroz y paja de arroz.

RH-L es fibra vegetal seca y desempolvada, compuesta de pura cáscara de arroz que se utiliza como aislante mediante llenado por gravedad de paredes o muros.

Características generales	
Composición química	Materia orgánica 73,87%
	Al ₂ O ₃ 1,23%
	Fe ₂ O ₃ 1,28%
	CaO 1,24%
	MgO 0,21%
	SiO ₂ 21,12%
	MnO ₂ 0,074%
Conductividad térmica	0,036 W/m·K
Densidad	120 - 140 kg/m ³
Humedad	8 - 10%
Poder calorífico	15,2 MJ/kg
Porosidad	93,40%
Cenizas de combustión	17%

CERTIFICACIONES

Aunque es un producto sin marcado CE, se puede utilizar en construcción, de acuerdo con las disposiciones del Decreto Legislativo italiano n. 106/2017 art. 5 párrafo 6. Este producto está sujeto a controles continuos para garantizar una calidad constante.

Panel aislante térmico en arcilla y cáscara de arroz RH-700, Ricehouse

Ricehouse SRL es una empresa italiana dedicada a la arquitectura sostenible que comercializa productos constructivos a base de subproductos del arroz, como cáscara de arroz y paja de arroz.

RH-700 es un panel de cierre para aislamiento interno compuesto por cáscara de arroz y arcilla, unidas mediante un ligante especial libre de aceites y formaldehído.

Características generales	
Conductividad térmica (λ)	0,129 W/m·K
Resistencia a la difusión de vapor de agua (μ)	12,3
Humedad residual	8-10%
Densidad	750 kg/m ³
Tolerancias dimensionales	±2
Coefficiente expansión térmica	-60·10 ⁻⁶ K ⁻¹
Contenido formaldehído	Libre
Reacción al fuego	B S1-D0
Absorción a las 24 h en agua	55,50%
Hinchamiento a las 24 h en agua	6,10%
Color estándar	Beige
Espesor	22 mm

CERTIFICACIONES

Aunque es un producto sin marcado CE, se puede utilizar en construcción, de acuerdo con las disposiciones del Decreto Legislativo italiano n. 106/2017 art. 5 párrafo 6. Este producto está sujeto a controles continuos para garantizar una calidad constante. Los valores obtenidos para definir su ficha técnica han sido testados por C.M.F. Greentech SRL.



Panel de aislamiento termoacústico RH-600, Ricehouse

Ricehouse SRL es una empresa italiana dedicada a la arquitectura sostenible que comercializa productos constructivos a base de subproductos del arroz, como cáscara de arroz y paja de arroz.

RH-600 es un panel de cierre para aislamiento interno y externo compuesto por una mezcla natural a base de cáscara de arroz y aglutinante natural.

Características generales	
Conductividad térmica (λ)	0,09 W/m·K
Resistencia a la difusión de vapor de agua (μ)	16,6
Humedad residual	9-11%
Densidad	600 kg/m ³
Tolerancias dimensionales	±2
Coefficiente expansión térmica	-60·10 ⁻⁶ K ⁻¹
Contenido formaldehído	Libre
Reacción al fuego	B S1-D0
Absorción a las 24 h en agua	100,00%
Hinchamiento a las 24 h en agua	2,70%
Color estándar	Beige
Espesor	30 mm

CERTIFICACIONES

Aunque es un producto sin marcado CE, se puede utilizar en construcción, de acuerdo con las disposiciones del Decreto Legislativo italiano n. 106/2017 art. 5 párrafo 6. Este producto está sujeto a controles continuos para garantizar una calidad constante. Los valores obtenidos para definir su ficha técnica han sido testados por C.M.F. Greentech SRL.

Panel aislante semi-rígido en paja de arroz FBT PR, FBT ISOLATION

FBT ISOLATION (Fibres Biosourcées & Techniques), empresa francesa dedicada al diseño y a la fabricación de paneles aislantes en fibras de base biológica, comercializa distintas variantes de aislante en base de paja de arroz, procedente de la región francesa de la Camarga.

El producto FBT PR es un panel aislante semi-rígido, compuesto por paja de arroz sin aditivos, evaluado por CSTB (Centre Scientifique et Technique du Bâtiment). Se presenta en distintos espesores de entre 45 y 200 mm.

Se utiliza como aislante en interiores, de particiones verticales y cubiertas.

Características generales		
Composición	92% paja de arroz 8% aglutinante, fibra poliéster termofusible	
Conductividad térmica (λ)	0,029 W/m·K	NF EN 12667
Densidad	50±5 kg/m ³	NF EN 1602
Factor de difusión de vapor de agua	$\mu=2,8$	NF EN 12086
Capacidad calorífica específica	1790 J/kg·K	Método TPS
Reacción al fuego	Euroclase E	NF EN 13501-1
Resistencia a insectos	Inatacable	Requisitos CSTB
Temperatura máxima de utilización	80°C	
Calidad del aire interior COV(Compuestos orgánicos volátiles)	A ⁺ Sin emisión de contaminantes	Émissions dans l'air intérieur
Capacidad absorción acústica	PR 45mm: aw = 0,5 (H), clase D PR 60mm: aw = 0,6 (H), clase C PR 100mm: aw = 0,8 (H), clase B PR ≥ 120mm: aw ≥ 0,9 (H), clase A	NF EN ISO 10534-2 : 2003

FBT PR	Espesor (mm)	Resistencia térmica R (m ² ·K/W)	Desfase (h)
PR 45	45	1,2	1h35
PR 60	60	1,5	2h05
PR 80	80	2,1	2h50
PR 100	100	2,6	3h30
PR 120	120	3,1	4h10
PR 145	145	3,7	5h00
PR 160	160	4,1	5h35
PR 170	170	4,4	5h55
PR 180	180	4,6	6h15
PR 200	200	5,1	7h00

CERTIFICACIONES

Este producto no se rige por una norma europea armonizada, por lo que no tiene marcado CE. Dispone de certificado de Qualité de l'air intérieur y COV: A+.



Panel aislante de paja de arroz con dos capas reflectantes FBT P2R, FBT ISOLATION

FBT ISOLATION (Fibres Biosourcées & Techniques), empresa francesa dedicada al diseño y a la fabricación de paneles aislantes en fibras de base biológica, comercializa distintas variantes de aislante en base de paja de arroz, procedente de la región francesa de la Camarga.

FBT P2R es un panel aislante para interiores, compuesto por paja de arroz y dos láminas reflectantes. Por un lado, la lámina de paja de arroz está compuesta por paja y aglutinante, que es fibra de poliéster termofusible. Por otro lado, las láminas reflectantes están fabricadas en PET metalizado microperforado. Estos paneles se presentan en espesores de entre 45 y 200 mm.

Se utiliza como aislante en interiores, de particiones verticales y cubiertas.

Características generales		
Composición	92% paja de arroz 8% aglutinante, fibra poliéster termofusible	PET metalizado microperforado Emisividad 0,06, 94% radiación IR
Conductividad térmica (λ)	0,029 W/m·K	NF EN 12667
Densidad	50±5 kg/m ³	NF EN 1602
Factor de difusión de vapor de agua	$\mu=4$	NF EN 12086
Capacidad calorífica específica	1790 J/kg·K	Método TPS
Reacción al fuego	-	NF EN 13501-1
Resistencia a insectos	Inatacable	Requisitos CSTB
Temperatura máxima de utilización	80°C	
Calidad del aire interior COV(Compuestos orgánicos volátiles)	A ⁺ Sin emisión de contaminantes	Émissions dans l'air intérieur
Capacidad absorción acústica	PR 45mm: aw = 0,5 (H), clase D PR 60mm: aw = 0,6 (H), clase C PR 100mm: aw = 0,8 (H), clase B PR ≥ 120mm: aw ≥ 0,9 (H), clase A	NF EN ISO 10534-2 : 2003

FBT P2R	Espesor (mm)	Resistencia térmica, R (m ² ·K/W)		Desfase (h)
		1 lámina	2 láminas	
PR 45	45	1,8	2,5	1h35
PR 60	60	2,2	2,8	2h05
PR 80	80	2,7	3,4	2h50
PR 100	100	3,2	3,9	3h30
PR 120	120	3,7	4,4	4h10
PR 145	145	4,4	5	5h00
PR 160	160	4,8	5,4	5h35
PR 170	170	5	5,7	5h55
PR 180	180	5,2	5,9	6h15
PR 200	200	5,8	6,4	7h00

CERTIFICACIONES

Este producto no se rige por una norma europea armonizada, por lo que no tiene marcado CE. Dispone de certificado de Qualité de l'air intérieur y COV: A+.



“LA DICOTOMÍA ENTRE DESARROLLO Y
SOSTENIBILIDAD ES FALSA.
SIN PLANETA NO HAY ECONOMÍA QUE VALGA”

Al Gore



AGRADECIMIENTOS

A la Dirección General de Arquitectura de la Junta de Extremadura como socio coordinador del proyecto LIFE ReNaturalNZEB.

A María José Trinidad Lozano, por originar nuestra participación en el proyecto LIFE ReNaturalNZEB.

A INTROMAC por facilitarnos información y la elaboración de infografías.

A Ramón Santiago Beltrán, por su colaboración en el desarrollo de la parte más relacionada con el ámbito forestal.

A Ana Fernández Santos, por el esfuerzo y la paciencia en las interminables revisiones de este documento.

Una mención especial a Álvaro Rodríguez Martín, por su trabajo e implicación en el montaje y maquetación de este manual. Iba a ser una contratación menor y al final fue una colaboración mayor.

Y por último a todos los que creen en la sostenibilidad y el respeto por el medio ambiente, apostando por otra manera de hacer las cosas.



Bibliografía y referencias corcho

Amorim Cork Insulation. (2021). <https://www.amorimcorkinsulation.com/>

Anjos, O., Pereira, H., & Rosa, M. E. (2010). Tensile properties of cork in the tangential direction: Variation with quality, porosity, density and radial position in the cork plank. *Materials and Design*, 31(4), 2085–2090. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2009.10.048>

Anjos, O., Pereira, H., & Rosa, M. E. (2011). Tensile properties of cork in axial stress and influence of porosity, density, quality and radial position in the plank. *European Journal of Wood and Wood Products*, 69(1), 85–91. <https://doi.org/10.1007/s00107-009-0407-0>

António, J., Moreira, A., & Tadeu, A. (2013). Impact sound transmission provided by concrete layers incorporating cork granules. *Noise Control Engineering Journal*, 61(5), 458–468. <https://doi.org/10.3397/1/3761040>

APCOR. (2014). Anuario realcork.

Ávila Nogales, L. J., Bernal Chacón, C., Botet Jiménez, A., Cardillo Amo, E., García García, M., González Montero, J. A., Hernández Fernández, A., Herreros de Tejada Perales, J., Marco Macarro, P., & del Pozo Barrón, J. L. (1998). Manual didáctico del taponero (Proyecto Leosuber). Junta de Extremadura. Consejería de Educación y Juventud. IPROCOR. FUNDECYT.

Azahara Leal Carrasco. (2013). Estudio de las distintas manufacturas de corcho utilizadas en construcción.

Barberis, A., Dettori, S., & Filigheddu, M. R. (2003). Management problems in Mediterranean cork oak forests: Post-fire recovery. *Journal of Arid Environments*, 54(3), 565–569. <https://doi.org/10.1006/jare.2002.1079>

Barreca, F., & Fichera, C. R. (2016). Thermal insulation performance assessment of agglomerated cork boards. *Wood and Fiber Science*, 48(2), 96–103.

Branco, F. G., & Godinho, L. (2013). On the use of lightweight mortars for the minimization of impact sound transmission. *Construction and Building Materials*, 45, 184–191. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.04.001>

Calderón Guerrero, C. (2012). Ejecución de trabajos de descorche del alcornoque (Paraninfo).

Castro, O., Silva, J. M., Devezas, T., Silva, A., & Gil, L. (2010). Cork agglomerates as an ideal core material in lightweight structures. *Materials and Design*, 31(1), 425–432. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2009.05.039>

DECOPROYEC. (2021). <https://www.decoprojec.com/>

del Pozo Barrón, J. L., Bernal Chacón, C., Cardillo Amo, E., García García, M., González Montero, J. A., & Santiago Beltrán, R. (2000). Manual didáctico del sacador (INDUGRAFIC).

del Río Merino, M. (2005). Nuevas Aplicaciones del corcho en el campo de la edificación. III Encuentro Eurocork (Huelva), 2005, 1–34. http://oa.upm.es/1896/1/RIO_PON_2005_01.pdf

Dias, A. C., & Arroja, L. (2014). A model for estimating carbon accumulation in cork products. *Forest Systems*, 23(2), 236–246. <https://doi.org/10.5424/fs/2014232-04100>

Dias, S., Tadeu, A., António, J., Almeida, J., Pedro, F., Martins, S., & Serra, C. (2018). Experimental study of expanded cork agglomerate blocks – Compressive creep behavior and dynamic performance. *Construction and Building Materials*, 181, 551–564. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.06.021>

Gil, L., Marreiros, N., & Silva, P. (2011). Insulation corkboard carbon content and CO₂ equivalent. In *Ciência & Tecnologia dos Materiais* (Vol. 23). http://jato.vpam.co.uk/jato1/JATO_Consult

Gil, Luís. (2009). Cork composites: A review. *Materials*, 2(3), 776–789. <https://doi.org/10.3390/ma2030776>

Gil, Luís. (2013a). Insulation corkboard for sustainable energy and environmental protection. *Ciência e Tecnologia Dos Materiais*, 25(1), 38–41. <https://doi.org/10.1016/j.ctmat.2013.12.008>



Gil, Luís. (2013b). Insulation corkboard for sustainable energy and environmental protection. *Ciência e Tecnologia Dos Materiais*, 25(1), 38–41. <https://doi.org/10.1016/j.ctmat.2013.12.008>

Gil, Luis, & Pereira, C. (2007). A fórmula da cortiça. In *Tecnologia e Vida: Vol. November* (pp. 1–4).

Go Suber. (2021). <http://gosuber.es/>

Graça, J., & Pereira, H. (2004). THE PERIDERM DEVELOPMENT IN QUERCUS SUBER. In *IAWA Journal* (Vol. 25, Issue 3).

Isocor. (2021). Isocor. <https://isocor.pt/es/>

Jové Martín, P. (2015a). CARACTERITZACIÓ DEL SURO I SUBPRODUCTES DE LA INDÚSTRIA SURERA. VALORACIÓ D'AQUESTS COM A BIOSORBENTS D'HIDROCARBURS AROMÀTICS POLICÍCLICS EN AIGÜES D'ESCORRENTIA. <http://hdl.handle.net/10803/403467>

Jové Martín, P. (2015b). CARACTERITZACIÓ DEL SURO I SUBPRODUCTES DE LA INDÚSTRIA SURERA. VALORACIÓ D'AQUESTS COM A BIOSORBENTS D'HIDROCARBURS AROMÀTICS POLICÍCLICS EN AIGÜES D'ESCORRENTIA [Universitat de Girona]. <http://hdl.handle.net/10803/403467>

Marques, A. V., & Pereira, H. (2013). Lignin monomeric composition of corks from the barks of *Betula pendula*, *Quercus suber* and *Quercus cerris* determined by Py-GC-MS/FID. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 100, 88–94. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2012.12.001>

OIV. (2013). International Organisation of Vine and Wine. Statistical report on world vitiviniculture.

Pacheco Menor, M. C. (2015). MATERIALES SOSTENIBLES. REFUGO DE CORCHO COMO ÁRIDO LIGERO EN PIEZAS DE HORMIGÓN PARA FÁBRICA DE ALBAÑILERÍA TESIS DOCTORAL.

Pacheco Menor, M. C. (2021). El corcho en construcción. Catálogo técnico. Observatorio Dehesa-Montado.

Parejo Moruno, F. M. (2004). SIGLO Y MEDIO DE COMERCIO EXTERIOR DE PRODUCTOS CORCHEROS EN ESPAÑA, 1849-1999. Asociación Española de Historia Económica.

Pereira, H. (2007). *Cork: Biology. Production and Uses* (Elsevier).

Pereira, Helena. (2013). Variability of the chemical composition of cork. In *BioResources* (Vol. 8, Issue 2).

Proietti, S., Desideri, U., Sdringola, P., & Zepparelli, F. (2013). Carbon footprint of a reflective foil and comparison with other solutions for thermal insulation in building envelope. *Applied Energy*, 112, 843–855. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.01.086>

Remacha Gete, A. (2008). *TECNOLOGÍA DEL CORCHO ANDRÉS REMACHA GETE* (Visión Libros).

Riboulet, J. M., & Alegoet, C. (1986). Aspectos prácticos sobre el embotellado y taponado de los vinos (Editorial).

Rives, J., Fernandez-Rodriguez, I., Rieradevall, J., & Gabarrell, X. (2013). Integrated environmental analysis of the main cork products in southern Europe (Catalonia - Spain). *Journal of Cleaner Production*, 51, 289–298. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.01.015>

Santos Pereira, J., Nuno Bulgalho, M., & da Conceição Caldeira, M. (2015). *Cultura, Naturaleza, Futuro*.

Segura Cruz, J. (2019). Estudio comparativo de materiales sostenibles aislantes en Arquitectura. Universitat Politècnica de València.

Sierra-Pérez, J., Boschmonart-Rives, J., Dias, A. C., & Gabarrell, X. (2016). Environmental implications of the use of agglomerated cork as thermal insulation in buildings. *Journal of Cleaner Production*, 126, 97–107. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.02.146>

Sierra-Pérez, J., Boschmonart-Rives, J., & Gabarrell, X. (2015). Production and trade analysis in the Iberian cork sector: Economic characterization of a forest industry. *Resources, Conservation and Recycling*, 98, 55–66. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2015.02.011>

Silva, S. P., Sabino, M. A., Fernandes, E. M., Correlo, V. M., Boesel, L. F., & Reis, R. L. (2005). Cork: Properties, capabilities and applications. *International Materials Reviews*, 50(6), 345–365. <https://doi.org/10.1179/174328005X41168>

SUBERLEV. (2021). <https://www.suberlev.com/>



Tadeu, A., Moreira, A., António, J., Simões, N., & Simões, I. (2014). Thermal delay provided by floors containing layers that incorporate expanded cork granule waste. *Energy and Buildings*, 68(PARTA), 611–619. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.10.007>

Tártaro, A. S., Mata, T. M., Martins, A. A., & Esteves da Silva, J. C. G. (2017). Carbon footprint of the insulation cork board. *Journal of Cleaner Production*, 143, 925–932. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.028>

Trinidad Lozano, M. J. (2011). Valoración y comportamiento térmico de los residuos de la industria corchera en San Vicente de Alcántara. Universidad de Extremadura.

Vaz, M. F., & Fortes, M. A. (2002). Friction properties of cork. *Journal of Materials Science*, 33(8), 2087–2093.

Verdum Virgos, M., Prades, C., Ramón, J., Adrados, G., Medina, M. B., Lezcano Estévez, G., & Sánchez González, M. (2020). Miniguía. Nuevas aplicaciones del corcho.

VIPEQ. (2021). <https://www.vipeq.es/>

Zapata Blanco, S. (2002). Del suro a la cortiça: el ascenso de Portugal a primera potencia corchera del mundo. *Revista de Historia Industrial. Economía y Empresa*, 0(22), 109–140. <https://doi.org/10.1344/rhiv0i22.19445>

Zapata, S., Parejo, F., Branco, A., Gutierrez, M., Blanco, J., P. Renaud, & A. Voth. (2009). Manufacture and trade of cork products: an international perspective. *Cork Oak Woodlands on the Edge*, June, 189–200.



Bibliografía y referencias fibras naturales

Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición. (2020). Uso del Cáñamo y Cannabinoides en Alimentación. In Nota informativa (pp. 1–2). Comisión institucional - Ministerio de Sanidad, Consumo y Bienestar Social. http://www.aesan.gob.es/AECOSAN/docs/documentos/noticias/2019/CANIAMO_CANNABINOIDES_ALIMENTACION.pdf

AL-Oqla, F. M., & Omari, M. A. (2017). Sustainable Biocomposites: Challenges, Potential and Barriers for Development. In M. Jawaid, S. M. Sapuan, & O. Y. Alotman (Eds.), *Green Biocomposites* (pp. 13–31). Springer International Publishing.

Alam, M. A., Sapuan, S. M., & Mansor, M. R. (2017). Design characteristics, codes and standards of natural fibre composites. In *Advanced High Strength Natural Fibre Composites in Construction* (pp. 511–528). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100411-1.00020-0>

Alexopoulou, E., Papatheohari, Y., Christou, M., & Monti, A. (2013). Origin, Description, Importance, and Cultivation Area of Kenaf. In E. Alexopoulou & A. Monti (Eds.), *Kenaf: A Multi-Purpose Crop for Several Industrial Applications* (pp. 1–16). Springer London.

Amaducci, S., & Gusovius, H. J. (2010). Hemp-Cultivation, Extraction and Processing. *Industrial Applications of Natural Fibres: Structure, Properties and Technical Applications*, 109–134. <https://doi.org/10.1002/9780470660324.ch5>

Avella, M. (2007). *Eco-houses based on Eco-friendly Polymer Composite Construction Materials* Final report.

Azzmi, N. M., & Yatim, J. M. (2018). Kenaf Fibrous Concrete: Mechanical properties with different fiber volume fraction. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, 8(4), 1036–1042. <https://doi.org/10.18517/ijaseit.84.3945>

Barciela López, C., & López Ortiz, M. (1998). Autarquía e intervención: el fracaso de la vertiente industrial del Plan Badajoz. *Revista de Historia Industrial. Economía y Empresa*, 0(14), 125–171. <https://doi.org/10.1344/rhi.v0i14.18457>

Barnaure, M., Ghita, A. M., & Iftode, M. C. (2017). Life cycle assessment of thermal insulation solutions for buildings. *17th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2017*, 17(62), 683–690. <https://doi.org/10.5593/sgem2017/62/S27.087>

Barth, M. (2015). Carbon Footprint of Natural Fibres. *12th International Conference of the European Industrial Hemp Association (EIHA)*, 1–23. <http://eiha.org/media/2017/01/15-04-Carbon-Footprint-of-Natural-Fibres-nova1.pdf%0D%0D>

Bertolini, M. da S., de Morais, C. A. G., Christoforo, A. L., Bertoli, S. R., dos Santos, W. N., & Lahr, F. A. R. (2019). Acoustic absorption and thermal insulation of wood panels: Influence of porosity. *BioResources*, 14(2), 3746–3757. <https://doi.org/10.15376/biores.14.2.37463757>

Bismarck, A., Mishra, S., & Lampke, T. (2005). Plant Fibers as Reinforcement for Green Composites. In *Natural fibers, biopolymers, and biocomposites*.

Bourdot, A., Moussa, T., Gacoin, A., Maalouf, C., Vazquez, P., Thomachot-Schneider, C., Bliard, C., Merabtine, A., Lachi, M., Douzane, O., Karaky, H., & Polidori, G. (2017). Characterization of a hemp-based agro-material: Influence of starch ratio and hemp shive size on physical, mechanical, and hygrothermal properties. *Energy and Buildings*, 153, 501–512. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.08.022>

Bourmaud, A., Beaugrand, J., Shah, D. U., Placet, V., & Baley, C. (2018). Towards the design of high-performance plant fibre composites. *Progress in Materials Science*, 97(August 2018), 347–408. <https://doi.org/10.1016/j.pmatsci.2018.05.005>

Bousfield, G., Morin, S., Jacquet, N., & Richel, A. (2018). Extraction and refinement of agricultural plant fibers for composites manufacturing. *Comptes Rendus Chimie*, 21(9), 897–906. <https://doi.org/10.1016/j.crci.2018.07.001>



Chernova, T. E., Mikshina, P. V., Salnikov, V. V., Ibragimova, N. N., Sautkina, O. V., & Gorshkova, T. A. (2018). Development of distinct cell wall layers both in primary and secondary phloem fibers of hemp (*Cannabis sativa* L.). *Industrial Crops and Products*, 117(February), 97–109. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.02.082>

Chiliveri, S. R., Koti, S., & Linga, V. R. (2016). Retting and degumming of natural fibers by pectinolytic enzymes produced from *Bacillus tequilensis* SV11-UV37 using solid state fermentation. *SpringerPlus*. <https://doi.org/10.1186/s40064-016-2173-x>

Cigasova, M. J. (2013). COMPARATIVE STUDY OF PROPERTIES OF LIGHTWEIGHT COMPOSITES BASED ON UNTREATED AND CHEMICAL TREATED OF HEMP HURDS. *GeoConference on Energy and Clean Technologies*, 317–325. www.proceedings.com

Crini, G., Lichtfouse, E., Chanet, G., & Morin-Crini, N. (2020). Applications of hemp in textiles, paper industry, insulation and building materials, horticulture, animal nutrition, food and beverages, nutraceuticals, cosmetics and hygiene, medicine, agrochemistry, energy production and environment: a review. *Environmental Chemistry Letters*, 18(5), 1451–1476. <https://doi.org/10.1007/s10311-020-01029-2>

de Andres, E. F., Cortes, J. G., Mateos, A. A., Rodriguez, M. A. P., Moreno, A. G., Tenorio, J. L., & van Swaaij, W. P. M. (2004). Growth and Yield of Three Kenaf Varieties in Two Spain Locations. *World Biomass Conference; Biomass for Energy Industry and Climate Protection*, 421–423. <https://www.tib.eu/de/suchen/id/BLCP%3ACN064728025>

Delhomme, F., & Castel, A. (2020). PHYSICAL PROPERTIES OF AN AUSTRALIAN HEMP FOR HEMPCRETE APPLICATION. *Proceedings of the 2nd Australian Industrial Hemp Conference*, 188–195.

Dénes, T.-O., Tămaş-Gavrea, D.-R., Tiuc, A. E., & Iştoan, R. (2019). Natural Fibre Composite Panels for Thermal Insulation of Buildings: a Review. *Scientific Papers ...*, 19(4), 71–78. http://managementjournal.usamv.ro/pdf/vol.19_4/volume_19_4_2019.pdf#page=71

Dodd, R. B., & Akin, D. E. (2005). Recent Developments in Retting and Measurement of Fiber Quality in Natural Fibers: Pro and Cons. In A. K. Mohanty, M. Misra, & L. T. Drzal (Eds.), *Natural Fibers, Biopolymers, and Biocomposites* (pp. 155–171). CRC Press Taylor & Francis Group.

Dryer, J. F. (1958). Cosecha del Kenaf. *Actas de La Conferencia Mundial Sobre Kenaf*. https://pdf.usaid.gov/pdf_docs/PA00WMH5.pdf

Earth Island Institute. (2000, September 22). Ebb & Flow. Ford has a better idea: kenaf. *Earth Island Journal*, 15(4), 3. <http://www.jstor.org.ezproxy.unex.es/stable/43880891>

Elsaid, A., Dawood, M., Seracino, R., & Bobko, C. (2011). Mechanical properties of kenaf fiber reinforced concrete. *Construction and Building Materials*, 25(4), 1991–2001. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.11.052>

Encyclopaedia Britannica. (2021). Retting. In *Encyclopaedia Britannica*. <https://www.britannica.com/technology/retting>

Evans, W. J., & Suddell, B. C. (2005). Natural Fiber Composites in Automotive Applications. In A. K. Mohanty, M. Misra, & L. T. Drzal (Eds.), *Natural Fibers, Biopolymers, and Biocomposites* (pp. 243–271). CRC Press Taylor & Francis Group.

FAO. (2003). Medium-term prospects for agricultural commodities: projections to the year 2010. In *Food And Agriculture Organization of the United Nations*. <http://www.fao.org/tempref/docrep/fao/006/y5143e/y5143e00.pdf>

Fernando, A. L. (2013). Environmental Aspects of Kenaf Production and Use. In A. Monti & E. Alexopoulou (Eds.), *Kenaf: A Multi-Purpose Crop for Several Industrial Applications* (pp. 83–104). Springer London.

Fernea, R., Manea, D. L., Plesa, L., Iernutan, R., & Dumitran, M. (2019). Acoustic and thermal properties of hemp-cement building materials. *Procedia Manufacturing*, 32, 208–215. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.02.204>

Foret, R. (1), Chene, J.-B. (1), & Guigou-Carter, C. (2). (2010). Porous material parameters influencing the acoustic performances of building construction systems. *39th International Congress on Noise Control Engineering 2010, INTER-NOISE 2010, 2(39th Int. Congr. Noise Control Eng. 2010, INTER-NOISE 2010)*, 858–867. <https://ezproxy.unex.es/login?url=https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edselc&AN=edselc.252.0-84868634211&lang=es&site=eds-live>



Fu, S. Y., Lauke, B., Mäder, E., Yue, C. Y., & Hu, X. (2000). Tensile properties of short-glass-fiber- and short-carbon-fiber-reinforced polypropylene composites. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 31(10), 1117–1125. [https://doi.org/10.1016/S1359-835X\(00\)000683](https://doi.org/10.1016/S1359-835X(00)000683)

García Cienfuegos, M. (2017). La vida política, económica y social de Montijo, Lobón y los pueblos nuevos de la comarca (1927-2017). *Revista de Estudios Extremeños*, 73(2), 1387–1444.

Garrido Herrero, S. (2005). Cñamo gentil. Una indagación sobre los condicionantes del cambio técnico en la agricultura. *Historia Agraria: Revista de Agricultura e Historia Rural*, 36, 287–310.

Gaujena, B., Agapovs, V., Borodinecs, A., & Strelets, K. (2020). Analysis of Thermal Parameters of Hemp Fiber Insulation. *Energies*, 13(23), 6385. <https://doi.org/10.3390/en13236385>

Hoondal, G. S., Tiwari, R., Tewari, R., Dahiya, N., & Beg, Q. K. (2002). Microbial alkaline pectinases and their industrial applications: a review. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 59(4–5), 409–418. <https://doi.org/10.1007/s00253-002-1061-1>

J. J. Lips, S., & E. G. van Dam, J. (2013). Kenaf Fibre Crop for Bioeconomic Industrial Development. In A. Monti & E. Alexopoulou (Eds.), *Kenaf: A Multi-Purpose Crop for Several Industrial Applications* (p. 208). Springer London.

Jaafar, Z. ., Khalatbari, A. ., Khalatbari, A. A., Hazandy, A. ., & Mohd Ridzwan, A. H. (2016). The physical properties, lignin distribution, chemical composition of fibers and gas exchange rate of kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.) varieties under prolonged water deficiency. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 16(ahead), 0–0. <https://doi.org/10.4067/s0718-95162016005000052>

Jami, T., Karade, S. R., & Singh, L. P. (2019). A review of the properties of hemp concrete for green building applications. *Journal of Cleaner Production*, 239, 117852. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.117852>

Jiang, Y., Ansell, M., Jia, X., Hussain, A., & Lawrence, M. (2017). Physical characterisation of hemp shiv: Cell wall structure and porosity. 2nd International Conference on Bio-Based Building Materials & 1st Conference on ECOlogical Valorisation of GRANular and Fibrous Materials, April. <http://eprints.whiterose.ac.uk/116882/>

Jones, D., & Brischke, C. (2017). Performance of Bio-based Building Materials. In *Performance of Bio-based Building Materials*. <https://doi.org/10.1016/c2015-0-04364-7>

Le Duigou, A., Correa, D., Ueda, M., Matsuzaki, R., & Castro, M. (2020). A review of 3D and 4D printing of natural fibre biocomposites. *Materials and Design*, 194, 108911. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2020.108911>

Lee, C. H., Khalina, A., Lee, S. H., & Liu, M. (2020). A Comprehensive Review on Bast Fibre Retting Process for Optimal Performance in Fibre-Reinforced Polymer Composites. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2020. <https://doi.org/10.1155/2020/6074063>

Lim, C., Sze, J., Yi Zuo, L., & Chooi, A. (2019). GROW YOUR OWN HOME. *Construction Plus*, 16, 42–44. http://www.portphillipvic.gov.au/default/GovernanceDocuments/HOUSING_THE_NATION_-_a_cultural_perspective_of_East_Timor.pdf

Lim, Z. Y., Putra, A., Nor, M. J. M., & Yaakob, M. Y. (2018). Sound absorption performance of natural kenaf fibres. *Applied Acoustics*, 130(September 2017), 107–114. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2017.09.012>

Marin, A. (2011, June). Aislamientos ecológicos; capaces de todo. *Ecohabitar*. <https://ecohabitar.org/articulos/aislamientos-ecologicos/>

Martínez Pino, J., & Aroca Martín, M. del P. (2018). La memoria del esparto y su industria en Cieza (Murcia). Apuntes sobre la recuperación y puesta en valor de un Patrimonio Inmaterial, Industrial y Paisajístico. *Revista Electrónica de Patrimonio Histórico*, 22, 37–68. <https://revistadepatrimonio.es/index.php/erph/article/view/248/231>

McPartland, J. M., Connell Clarke, R., & Paul Watson, D. (2000). *Hemp Diseases, Pests Management and Biological Control* (CABI, 2000).pdf. CABI Publishing.

Md. Tahir, P., Ahmed, A. B., SaifulAzry, S. O. A., & Ahmed, Z. (2011). Retting process of some bast plant fibres and its effect on fibre quality: A review. *BioResources*, 6(4), 5260–5281. <https://doi.org/10.15376/biores.64.52605281>

Merta, I. (2017). MECHANICAL PERFORMANCE OF HEMP FIBRE MODIFIED MORTAR. 2nd International Conference on Bio-Based Building Materials & 1st Conference on ECOlogical Valorisation of GRANular and Fibrous Materials, 219–223.



Michael Carus. (2017). European hemp industry: cultivation, processing and applications for fibres, shivs, seeds and flowers. 1994(March), 1–9.

Ministerio de Agricultura y Pesca, M. A. y A. (2017). Real Decreto 980/2017, de 10 de noviembre, por el que se modifican los Reales Decretos 1075/2014, 1076/2014, 1077/2014 y 1078/2014, todos ellos de 19 de diciembre, dictados para la aplicación en España de la Política Agrícola Común. <https://www.boe.es/boe/dias/2017/11/11/pdfs/BOE-A-2017-12981.pdf>

Mirizzi, F., & Wilson, C. (2020). Hemp, a real green deal. https://eiha.org/wp-content/uploads/2020/09/Hemp-a-real-green-deal_EN.pdf

Mohamed, A., Bhardwaj, H., Hamama, A., & Webber, C. (1995). Chemical composition of kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.) seed oil. *Industrial Crops and Products*, 4(3), 157–165. [https://doi.org/10.1016/0926-6690\(95\)00027-A](https://doi.org/10.1016/0926-6690(95)00027-A)

Mohanty, A. K., Misra, M., Drzal, L. T., Selke, S. E., Harte, B. R., & Hinrichsen, G. (2005). Natural fibers, biopolymers, and biocomposites: An Introduction. In A. K. Mohanty, M. Misra, & L. T. Drzal (Eds.), *Natural Fibers, Biopolymers, and Biocomposites* (pp. 15–50). Taylor & Francis.

Munder, F., Fűrll, C., & Hempel, H. (2005). Processing of Bast Fiber Plants for Industrial Application. In A. K. Mohanty, M. Misra, & L. T. Drzal (Eds.), *Natural Fibers, Biopolymers, and Biocomposites* (pp. 123–154). Taylor & Francis. <https://doi.org/10.1201/9780203508206-11>

Nunes, L., Réh, R., Barbu, M. C., & Walker, P. (2017). Nonwood bio-based materials. In D. Jones & C. Brischke (Eds.), *Performance of Bio-based Building Materials* (pp. 97–186). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100982-6.000033>

Nyam, K. L., Tan, C. P., Lai, O. M., Long, K., & Che Man, Y. B. (2009). Physicochemical properties and bioactive compounds of selected seed oils. *LWT - Food Science and Technology*, 42(8), 1396–1403. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2009.03.006>

Parlamento Europeo. (2020a). P9_TA(2020)0287 Política agrícola común: ayuda a los planes estratégicos que deben elaborar los Estados miembros, financiada con cargo al FEAGA y al Feader *** I. https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/TA-9-2020-0287_ES.html

Parlamento Europeo. (2020b). P9_TA(2020)0289 Política agrícola común: modificación del Reglamento de la OCM y otros. Parlamento Europeo. https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/TA-9-2020-0289_ES.html

Pickering, K. L., Efendy, M. G. A., & Le, T. M. (2016). A review of recent developments in natural fibre composites and their mechanical performance. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 83, 98–112. <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2015.08.038>

Pott, G. T., & Ceres, B. V. (2002). Reduction of moisture sensitivity in natural fibres. *Materials Research Society Symposium - Proceedings*, 702, 87–98. <https://doi.org/10.1557/proc-702-u3.6.1>

R. Oliveros, R. Ponz, M. Manzanares, J.L Tenorio, L. A. (2000). KENAF: UN CULTIVO AGRÍCOLA PARA LA PRODUCCIÓN DE FIBRAS ANUALES. *Agricultura: Revista Agropecuaria y Ganadera*, 748–753.

Ramamoorthy, S. K., Skrifvars, M., & Persson, A. (2015). A review of natural fibers used in biocomposites: Plant, animal and regenerated cellulose fibers. *Polymer Reviews*, 55(1), 107–162. <https://doi.org/10.1080/15583724.2014.971124>

Ramos Rubio, J. A. (2018). Cañamero: Puerta de las Villuercas. Alicante: Biblioteca Virtual Miguel de Cervantes, 2018. <http://www.cervantesvirtual.com/nd/ark:/59851/bmc0933308>

Razak, M. R., Yusof, N. A., Aris, A. Z., Nasir, H. M., Haron, M. J., Ibrahim, N. A., Johari, I. S., & Kamaruzaman, S. (2020). Phosphoric acid modified kenaf fiber (K-PA) as green adsorbent for the removal of copper (II) ions towards industrial waste water effluents. *Reactive and Functional Polymers*, 147(September 2019). <https://doi.org/10.1016/j.reactfunctpolym.2019.104466>

Roseberg, R. (1996). Underexploited temperate industrial and fiber crops. In J. Janick (Ed.), *Progress in new crops*. ASHS Press.

Santoni, A., Bonfiglio, P., Fausti, P., Marescotti, C., Mazzanti, V., Mollica, F., & Pompoli, F. (2019). Improving the sound absorption performance of sustainable thermal insulation materials: Natural hemp fibres. *Applied Acoustics*, 150, 279–289. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2019.02.022>



Sassoni, E., Manzi, S., Motori, A., Montecchi, M., & Canti, M. (2014). Novel sustainable hemp-based composites for application in the building industry: Physical, thermal and mechanical characterization. *Energy and Buildings*, 77, 219–226. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.03.033>

Schäfer, T., & Honermeier, B. (2006). Effect of sowing date and plant density on the cell morphology of hemp (*Cannabis sativa* L.). *Industrial Crops and Products*, 23(1), 88–98. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2005.04.003>

Schwabl, P., Köppel, S., Königshofer, P., Bucsics, T., Trauner, M., Reiberger, T., & Liebmann, B. (2019). Detection of Various Microplastics in Human Stool. *Annals of Internal Medicine*, 171(7), 453. <https://doi.org/10.7326/m19-0618>

Seenaa, J., Maya, J., & Sabu, T. (2005). Natural Fiber–Rubber Composites and Their Applications. In A. K. Mohanty, M. Misra, & L. T. Drzal (Eds.), *Natural fibers, biopolymers, and biocomposites*. Taylor & Francis.

Singh, M., & Sardesai, M. M. (2016). *Cannabis sativa* (*Cannabaceae*) in ancient clay plaster of Ellora Caves , India. *Current Science*, 110(5), 884–891. <https://www.jstor.org/stable/24907973>

Sponner, J., Toth, L., Cziger, S., & Franck, R. R. (2005). Hemp. In R. E. Franck (Ed.), *Bast and Other Plant Fibres* (pp. 176–206). Woodhead Publishing Limited. <https://doi.org/10.1533/9781845690618.176>

Sreenivas, H. T., Krishnamurthy, N., & Arpitha, G. R. (2020). A comprehensive review on light weight kenaf fiber for automobiles. *International Journal of Lightweight Materials and Manufacture*, 3(4), 328–337. <https://doi.org/10.1016/j.ijlmm.2020.05.003>

Taban, E., Soltani, P., Berardi, U., Putra, A., Mousavi, S. M., Faridan, M., Samaei, S. E., & Khavanin, A. (2020). Measurement, modeling, and optimization of sound absorption performance of Kenaf fibers for building applications. *Building and Environment*, 180(June), 107087. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.107087>

Takagi, H. (2019). Review of Functional Properties of Natural Fiber-Reinforced Polymer Composites: Thermal Insulation, Biodegradation and Vibration Damping Properties. *Advanced Composite Materials*, 28(5), 525–543. <https://doi.org/10.1080/09243046.2019.1617093>

Tan, T. (2019). *AffordAble Abodes Sdn Bhd - Kenafcrete* (p. 27). <https://www.kenafpartnersusa.com/media-files/kenafcreteprojectstestin11june2019.pptx>

Tawakkal, I. S. M. A., Talib, R. A., Abdan, K., & Ling, C. N. (2012). Mechanical and physical properties of kenaf-derived cellulose (KDC)-filled polylactic acid (PLA) composites. *BioResources*, 7(2), 1643–1655. <https://doi.org/10.15376/biores7.2.1643-1655>

Toonen, M., Ebskamp, M., & Kohler, R. (2007). Improvement of fibre and composites for new markets. In P. Ranalli (Ed.), *Improvement of Crop Plants for Industrial End Uses* (pp. 155–180). Springer Netherlands.

Webber III, C. L., Bhardwaj, H. L., & Bledsoe, V. K. (2002). Kenaf production: fiber, feed, and seed. *Trends in New Crops and New Uses*, 327–339. <http://www.hort.purdue.edu/newcrop/ncnu02/pdf/webber327.pdf>

Xu, J., Widyorini, R., Yamauchi, H., & Kawai, S. (2006). Development of binderless fiberboard from kenaf core. *Journal of Wood Science*, 52(3), 236–243. <https://doi.org/10.1007/s10086-005-07703>



Bibliografía y referencias subproductos del arroz

Abril, D., Navarro, E. A., & Abril, A. J. (2009). La paja de arroz. Consecuencias de su manejo y alternativas de aprovechamiento. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 17, 69–79.

Angladette, A. (1969). *El arroz. Técnicas agrícolas y producciones*, vol 1 (Blume).

Arcos, C. A., Pinto, D. M., & Rodríguez Páez, J. E. (2007). Cáscara de arroz como fuente de SiO₂. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, 41(1), 7–20. <https://revistas.udea.edu.co/index.php/ingenieria/article/view/19012>

Baeza, F., Payá, J., Galao, O., Saval, J. M., & Garcés, P. (2014). Blending of industrial waste from different sources as partial substitution of Portland cement in pastes and mortars. *Construction and Building Materials*, 66, 645–653. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.05.089>

Balingbing, C., Hung, N. Van, Nghi, N. T., Van, N., Roxas, A. P., Tado, C. J., Bautista, E., & Gummert, M. (2020). Mechanized collection and densification of rice straw. *Sustainable Rice Straw Management*, 15–32. <https://doi.org/10.1007/9783-03032373-8>

Beagle, E. C. (1978). *Rice-husk conversion to energy* (FAO Agricu).

Binod, P., Sindhu, R., Singhanian, R. R., Vikram, S., Devi, L., Nagalakshmi, S., Kurien, N., Sukumaran, R. K., & Pandey, A. (2010). Bioethanol production from rice straw: An overview. *Bioresource Technology*, 101(13), 4767–4774. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.10.079>

Cadena, C., & Bula, A. (2002). Estudio de la variación en la conductividad térmica de la cascarilla de arroz aglomerada con fibras vegetales. *Ingeniería y Desarrollo: Revista de La División de Ingeniería de La Universidad Del Norte*, 12, 1–9.

Ecococon. (2021). <https://ecococon.eu/lt/>

FBT INSULATION. (2021). <https://www.fbt-isol.com/>

Gutiérrez-M.D., J., Cadena, C., & Bula Silvera, A. J. (2014). Aislamiento térmico producido a partir de cascarilla de arroz aglomerada utilizando almidón producido con *saccharomyces*. *Dyna*, 81(184), 138–143. http://dyna.medellin.unal.edu.co/en/verResumenEN.php?id_articulo=v81n184a18

Hidalgo Astudillo, S. E. (2018). Evaluación De La Reactividad Puzolánica De La Ceniza De Paja De Arroz. *Universitat Politècnica de València*.

Hossain, S. K. S., Mathur, L., & Roy, P. K. (2018). Rice husk/rice husk ash as an alternative source of silica in ceramics: A review. *Journal of Asian Ceramic Societies*, 6(4), 299–313. <https://doi.org/10.1080/21870764.2018.1539210>

Kadam, K. L., Forrest, L. H., & Jacobson, W. A. (2000). Rice straw as a lignocellulosic resource: Collection, processing, transportation, and environmental aspects. *Biomass and Bioenergy*, 18(5), 369–389. [https://doi.org/10.1016/S0961-9534\(00\)00005-2](https://doi.org/10.1016/S0961-9534(00)00005-2)

Khan, R., Jabbar, A., Ahmad, I., Khan, W., Khan, A. N., & Mirza, J. (2012). Reduction in environmental problems using rice-husk ash in concrete. *Construction and Building Materials*, 30, 360–365. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.11.028>

Krishnarao, R. V., Subrahmanyam, J., & Jagadish Kumar, J. (2001). Studies on the formation of black particles in rice husk silica ash. *Journal of the European Ceramic Society*, 21, 99–104. <https://doi.org/10.1143/JPSJ.55.3362>

MAPA (Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación). (2021). <https://www.mapa.gob.es/es/agricultura/temas/producciones-agricolas/cultivos-herbaceos/arroz/default.aspx#ancla3>

Martínez Sañudo, C. (2019). Estudio y aplicaciones de las construcciones con fardos de paja. *Beneficios de los materiales naturales*. Universidad de Valladolid.

Matías, J., Cruz, V., García, A., & González, D. (2019). Evaluation of rice straw yield, fibre composition and collection under mediterranean conditions. *Acta Technologica Agriculturae*, 22(2), 46–50. <https://doi.org/10.2478/ata-2019-0009>



Matías, J., Gil, A., López, V., Arribas, L., & González, C. (2015). From whatever residue into levulinic acid (WALEVA Life project) - An innovative way to turn waste into resource: rice straw collection actions. In 23rd European Biomass Conference and Exhibition (Issue September).

META2020 Arquitectos. (2021). <https://www.meta2020arquitectos.com/>

Minke, G., & Mahlke, F. (2006). Manual de construcción con fardos de paja (Fin de Sig).

Mirmohamadsadeghi, S., & Karimi, K. (2020). Recovery of silica from rice straw and husk. In *Current Developments in Biotechnology and Bioengineering: Resource Recovery from Wastes*. Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-64321-6.000215>

Moraes, C. A. M., Fernandes, I. J., Calheiro, D., Kieling, A. G., Brehm, F. A., Rigon, M. R., Berwanger Filho, J. A., Schneider, I. A. H., & Osorio, E. (2014). Review of the rice production cycle: By-products and the main applications focusing on rice husk combustion and ash recycling. *Waste Management and Research*, 32(11), 1034–1048. <https://doi.org/10.1177/0734242X14557379>

Moreno-García, B., Guillén, M., & Quílez, D. (2017). Response of paddy rice to fertilisation with pig slurry in northeast Spain: Strategies to optimise nitrogen use efficiency. *Field Crops Research*, 208, 44–54. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2017.01.023>

Munshi, S., Dey, G., & Prasad Sharma, R. (2013). Use of Rice Straw Ash as Pozzolanic Material in Cement Mortar. *International Journal of Engineering and Technology*, 5(5), 603–606. <https://doi.org/10.7763/ijet.2013v5.626>

Nakhshiniev, B., Biddinika, M. K., Gonzales, H. B., Sumida, H., & Yoshikawa, K. (2014). Evaluation of hydrothermal treatment in enhancing rice straw compost stability and maturity. *Bioresource Technology*, 151, 306–313. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2013.10.083>

Navarro, E. (2008). La biomasa de la Albufera, aprovechamiento y corrección de impactos (Aleta edic).

Okambuva. (2021). <https://www.okambuva.coop/>

Ospina, M., De Gutierrez, R. M., Delvasto, S., Monzó, J., Borrachero, M. V., & Payá, J. (2009). Modificación de la morfología de la ceniza de cascarilla de

arroz por molienda de alta energía y su efecto en las propiedades reológicas de pastas de cemento Portland adicionadas. *Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales*, 1(2), 577–584. www.polimeros.labb.usbve/RLMM/home.html

Página de arroz Valencia. (2021). <http://www.pajadearrozvalencia.com>

Pandey, S., Byerlee, D., Dawe, D., Dobermann, A., Mohanty, S., Scott, R., & Hardy, B. (2010). Rice in the global economy: Strategic Research and Policy Issues for Food Security. In *Rice in the Global Economy*. IRRRI: International Rice Research Institute.

Parrillo, A., Sánchez, G., & Alles, A. B. (2021). Si₃N₄ and Si₂N₂O whiskers from rice husk and industrial rice husk ash. *SN Applied Sciences*, 3(2), 1–12. <https://doi.org/10.1007/s42452-021-04307-y>

Prada - Matiz, A., & Cortés Castillo, C. (2010). La descomposición térmica de la cascarilla de arroz: una alternativa de aprovechamiento integral. *Orinoquía*, 14(2), 155–170.

Quintana-Gallardo, A., Romero Clausell, J., Guillén-Guillamón, I., & Mendiguchia, F. A. (2021). Waste valorization of rice straw as a building material in Valencia and its implications for local and global ecosystems. *Journal of Cleaner Production*, 318(January). <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128507>

Rahimi-Ajdadi, F., Asli-Ardeh, E. A., & Ahmadi-Ara, A. (2018). Effect of Varying Parboiling Conditions on Head Rice Yield for Common Paddy Varieties in Iran. *Acta Technologica Agriculturae*, 21(1), 1–7. <https://doi.org/10.2478/ata-2018-0001>

Ribó, M., Albiach, R., Pomares, F., & Canet, R. (2017). Alternativas de gestión de la paja de arroz en la Albufera de Valencia. *Vida Rural*, 430, 56–60.

Ricehouse. (2021). <https://www.ricehouse.it/>

Rodríguez De Sensale, G. (2010). Effect of rice-husk ash on durability of cementitious materials. *Cement and Concrete Composites*, 32(9), 718–725. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2010.07.008>

Romans Torres, I. (2014). Estudio y análisis de la construcción con balas de paja. Universitat Politècnica de València.



Sánchez Martínez, F. (2017). Nuevas tendencias en la construcción con balas de paja. Universidad Politècnica de València.

Serrano, T., Borrachero, M. V., Monzó, J. M., & Payà, J. (2012). Lightweight mortars with rice husk: Mix design and properties evaluation. *Dyna*, 79(175), 128–136.

Shea, A., Wall, K., & Walker, P. (2013). Evaluation of the thermal performance of an innovative prefabricated natural plant fibre building system. *Building Services Engineering Research and Technology*, 34(4), 369–380. <https://doi.org/10.1177/0143624412450023>

Sisman, C. B., Gezer, E., & Kocaman, I. (2011). Effects of organic waste (rice husk) on the concrete properties for farm buildings. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 17(1), 40–48.

Taller Karuna. (2021). <https://tallerkaruna.org/curso-tecnicas-wrapping-satep-bioconstruccion-paja/>

Tello Saavedra, F., Ortíz Pacaya, D., & Serván Herrera, R. (2014). Estudio de prefactibilidad para la instalación de una planta para obtener bioetanol a partir de residuos lignocelulósicos-cáscaras de arroz (*Oriza sativa*) en la Región Loreto [UNAP]. <http://repositorio.unapiquitos.edu.pe/handle/UNAP/3671>

Vadiveloo, J., Nurfariza, B., & Fadel, J. G. (2009). Nutritional improvement of rice husks. *Animal Feed Science and Technology*, 151(3–4), 299–305. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2009.03.002>

Varón Cemargo, J. (2005). Diseño, construcción y puesta a punto de un prototipo de quemador para la combustión continua y eficiente de la cascarilla de arroz. *El Hombre y La Máquina*, 25, 128–135.

Walker, P., Thomson, A., & Maskell, D. (2019). Straw bale construction. In *Nonconventional and Vernacular Construction Materials: Characterisation, Properties and Applications*. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102704-2.000093>

Yadvinder-Singh, Bijay-Singh, & Timsina, J. (2005). Crop Residue Management for Nutrient Cycling and Improving Soil Productivity in Rice-Based Cropping Systems in the Tropics. *Advances in Agronomy*, 85, 269–407. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(04\)850065](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(04)850065)

Yang, H., Kim, D., & Kim, H. (2003). Rice straw–wood particle composite for sound absorbing. *Bioresource Technology*, 86, 117–121.

Yang, H. S., Kim, D. J., Lee, Y. K., Kim, H. J., Jeon, J. Y., & Kang, C. W. (2004). Possibility of using waste tire composites reinforced with rice straw as construction materials. *Bioresource Technology*, 95(1), 61–65. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2004.02.002>

Ye, G., Huang, H., & Van, N. (2014). Rice Husk Ash. In *Properties of Fresh and Hardened Concrete Containing Supplementary Cementitious Materials* (N. De Belí, pp. 257–298). https://doi.org/10.1007/9783-64236721-2_6

Yong Sung, C., Man Lee, H., Ik Kim, Y., Tae Kim, K., Seuk Seo, D., & Sung Nam, K. (1998). Engineering Properties of Concrete with Rice Straw Ash. *J. Agric. Sci. Technol.*, 25(2), 285–292.





“La naturaleza no hace nada en vano ni
hace nada incompleto”

Aristóteles



MANUAL DE MATERIALES NATURALES EN CONSTRUCCIÓN

