



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Arquitectura

Materiales de base biológica para el almacenamiento de
CO₂: comparativa de impacto ambiental de un edificio de
viviendas.

Trabajo Fin de Grado

Grado en Fundamentos de la Arquitectura

AUTOR/A: Fabado Saucedo, Javier

Tutor/a: Lerma Elvira, Carlos

Cotutor/a: Vercher Sanchis, José María

CURSO ACADÉMICO: 2022/2023



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR DE
ARQUITECTURA

Materiales de Base Biológica para el Almacenamiento de CO₂: comparativa de impacto ambiental de un edificio de viviendas

Trabajo Final de Grado - Grado en Fundamentos de la Arquitectura

Autor: Javier Fabado Saucedo
Tutores: Carlos Lerma Elvira
José María Vercher Sanchis

E.T.S.A. Valencia - Curso Académico 2022/23
Universitat Politècnica de València

Título: Materiales de Base Biológica para el Almacenamiento de CO₂: comparativa de impacto ambiental de un edificio de viviendas.

Resumen: Los materiales que habitualmente se emplean en el sector de la construcción provocan grandes emisiones de gases contaminantes durante su producción, haciendo del sector uno de los más perjudiciales para el medioambiente. Sin embargo, los materiales de base biológica son una buena alternativa, ya que mantienen propiedades similares, pero con una huella de carbono negativa, es decir, absorbiendo CO₂ presente en la atmósfera.

El trabajo pretende ofrecer una alternativa sostenible a los materiales convencionales. Para ello, se va a realizar un estudio de impacto ambiental de la producción de los principales materiales utilizados en un edificio de viviendas para, posteriormente, ofrecer una nueva solución constructiva con materiales naturales estudiados.

Palabras Clave: Materiales sostenibles, corcho, fibra de madera, madera, ciclo de vida, almacenamiento de carbono, CLT.

Title: Bio-based materials for CO₂ storage: comparison of the environmental impact of a residential building.

Abstract: The materials commonly used in the construction sector cause high emissions of polluting gases during their production, making the sector one of the most environmentally damaging. However, bio-based materials are a good alternative, as they maintain similar properties but with a negative carbon footprint, that is, absorbing CO₂ present in the atmosphere.

The work aims to offer a sustainable alternative to conventional materials, for which a study of the environmental impact of the production of the main materials used in a residential building will be carried out in order to subsequently offer a new construction solution with the natural materials studied.

Keywords: Sustainable materials, cork, wood fibre, wood, life cycle, carbon storage, CLT.

Títol: Materials de Base Biològica per a l'Emmagatzematge de CO₂: comparativa d'impacte ambiental d'un edifici d'habitatges.

Resum: Els materials que habitualment s'empren en el sector de la construcció provoquen grans emissions de gasos contaminants durant la seua producció, fent del sector un dels més perjudicials per al medi ambient. No obstant això, els materials de base biològica són una bona alternativa, ja que mantenen propietats similars, però amb una petjada de carboni negativa, es a dir, absorbint CO₂ present en l'atmosfera.

El treball pretén oferir una alternativa sostenible als materials convencionals. Per a això, es realitzarà un estudi d'impacte ambiental de la producció dels principals materials utilitzats en un edifici d'habitatges per a, posteriorment, oferir una nova solució constructiva amb materials naturals estudiats.

Paraules Clau: Materials sostenibles, suro, fibra de fusta, fusta, cicle de vida, emmagatzematge de carboni, CLT.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN:

1.1 Motivación	06
1.2 Objetivos	08
1.3 Obejtivos de Desarrollo Sostenible (ODS)	08
1.4 Metodología	10
1.4.1 Análisis del Ciclo de Vida (ACV)	10

2. CASO DE ESTUDIO Y ANÁLISIS CONSTRUCTIVO:

2.1 Presentación del Caso de Estudio	13
2.2 Estudio Constructivo y Medioambiental	17
2.2.1 Hormigón, Cimentación y Estructura.	17
2.2.2 Cerramientos y Particiones	20
2.2.3 Cubierta.....	25
2.3 Análisis global del edificio.....	27

3. MATERIALES DE BASE BIOLÓGICA:

3.1 Materiales de Base Biológica	29
3.2 Estructura.....	32
3.2.1 Pilares y Vigas de Madera	32
3.2.2 CLT	35
3.3 Aislamientos Térmicos y Acústicos.....	38
3.3.1 Aislamiento de Corcho	38
3.3.2 Aislamiento de Fibra de Madera	40

4. REMATERIALIZACIÓN DEL EDIFICIO

4.1 Cimentación	42
4.2 Estructura	43
4.3 Cerramientos	49
4.4 Particiones	50
4.5 Cubierta	53
4.6 Detalles Constructivos	55
4.7 Análisis global de la propuesta	59

5. RESULTADOS Y CONCLUSIONES.....

62

6. FIGURAS Y TABLAS.....

66

7. BIBLIOGRAFÍA

74

ANEXO 1: DECLARACIONES AMBIENTALES

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Motivación

A pesar de las políticas y acuerdos mundiales, las emisiones de CO₂ siguen aumentando anualmente. Según las previsiones más conservadoras (STEPS¹), se prevé que van a seguir aumentando hasta 2030, lo que va a dificultar cumplir con los objetivos establecidos en los diferentes acuerdos medioambientales internacionales como el Acuerdo de París [ONU 2015] o el Protocolo de Kioto [ONU 1997]. ¿Se está haciendo todo lo posible desde el sector de la construcción para reducir las emisiones?

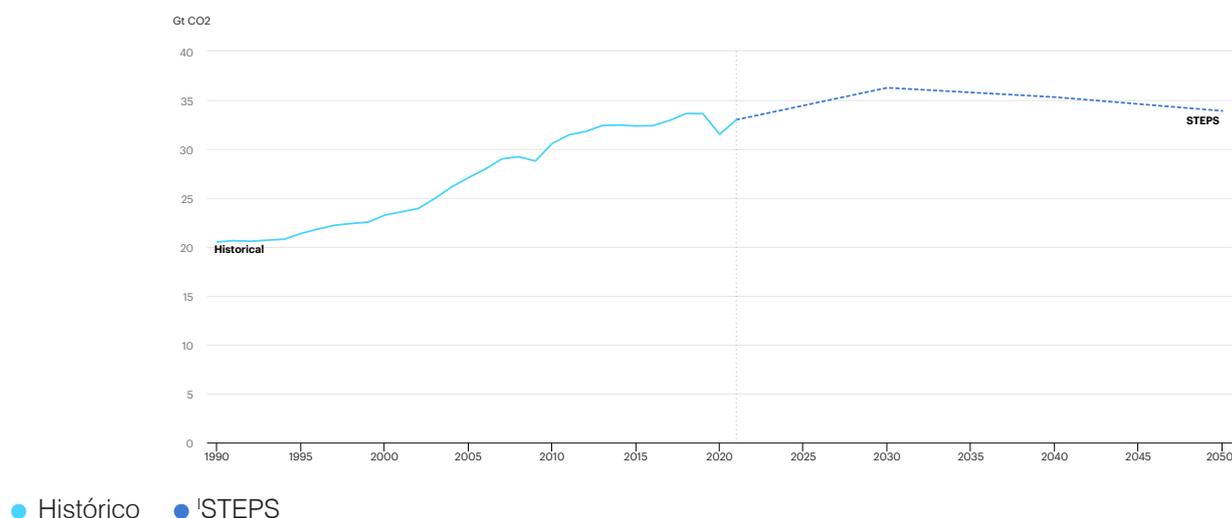


Figura 1. Emisiones globales de CO₂ relacionadas con la energía en las políticas declaradas. IEA (2022).

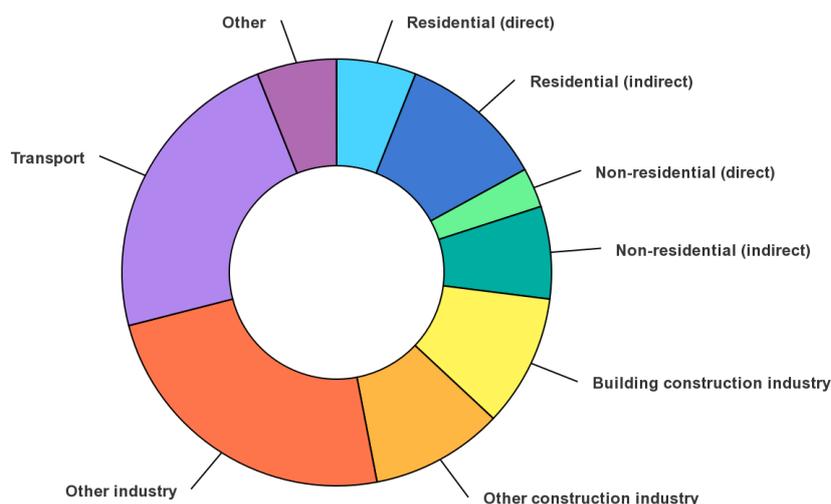


Figura 2. Emisiones globales de CO₂ relacionadas con la energía por sector 2020. IEA (2022).

El impacto del sector de la construcción en las emisiones totales de CO₂ es muy significativo. Según los datos recogidos en el informe del 2021 de la Agencia Internacional de la Energía [IAE 2022], la construcción de edificios y su operación representan respectivamente el 20% y el 27% de las emisiones de CO₂ totales del sector de la energía. Con el objetivo de alcanzar la neutralidad de emisiones del sector, la IAE estima que para 2030 las emisiones directas e indirectas deben reducirse un 50% y un 60% respectivamente [IAE 2020].

¹STEPS: Escenario de Políticas Declaradas. Establece previsiones de emisiones conservadoras, ya que tiene en cuenta que los gobiernos no van a alcanzar todos los objetivos anunciados de manera completa.

Por lo tanto, es de vital importancia conocer el impacto de las elecciones constructivas y su repercusión medioambiental, es decir, la huella de carbono. El carbón embebido es clave para la transición hacia un sector responsable medioambientalmente. Representa la cantidad de CO₂ generada en la producción del material, transporte y construcción del edificio (módulos A1-A5 del Análisis del Ciclo de Vida). También es importante evaluar el carbón operacional, que mide el generado durante el uso, mantenimiento y reparaciones del edificio (módulos B1-5 y B7). Además, se ha de estudiar la energía embebida, donde se evalúa la energía total necesaria en la construcción del edificio, ya que no solo se trata de disminuir el consumo energético en el uso del edificio, sino también en el proceso de construcción.

Cobra gran relevancia en estos datos las emisiones de CO₂ en la producción de materiales de construcción, especialmente en la fabricación de acero, hormigón y vidrio. La asociación GlobalABC (alianza global para los edificios y construcción), dependiente de la ONU, cuantifica las emisiones de gases contaminantes en la producción de materiales en un 9% de las emisiones totales del año 2022 [UN 2022].

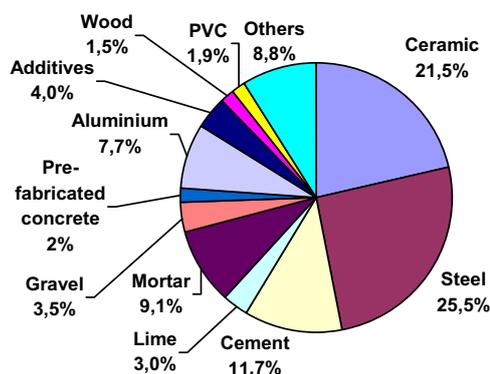


Figura 3. Demanda de Energía Primaria en la fabricación de 1m² de material. Bribián et al. (2011).

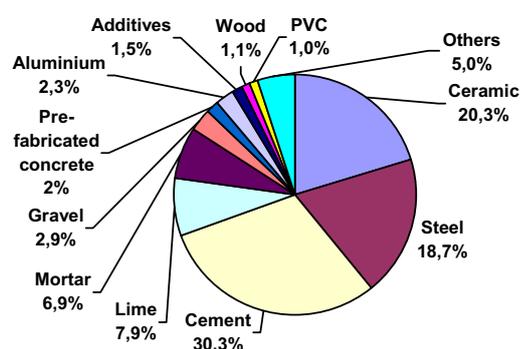


Figura 4. Emisiones de CO₂ en la fabricación de 1m² de material. Bribián et al. (2011).

Por lo tanto, el sector de la construcción puede pasar de ser un problema a ser la solución. No solo limitando y reduciendo las emisiones de gases contaminantes o el consumo de energía, sino actuando a la inversa, es decir, utilizando materiales de construcción que no solo no contaminan, sino que actúen como almacenamiento de CO₂, reduciendo los gases contaminantes de la atmósfera, utilizando materiales con emisiones negativas o neutras, que son el objeto del presente trabajo.

Pero también es importante fijar objetivos de rehabilitación energética de edificios ya construidos, especialmente en Europa, donde el 64% del parque residencial se construyó entre 1945 y 1999 [Eurostat, 2016]. En la Comunidad Valenciana, el 60% del parque se construyó entre 1940 y 1980 [Serrano, B. 2016], antes de la aplicación del primer Reglamento de Edificación para Aislamiento Térmico, de 1979 [R.D 1979]. Debido a las exigencias actuales y a la falta de mantenimiento de muchos de estos edificios, va a existir la necesidad, en un plazo temporal corto, de rehabilitación energética del parque ya construido, con su consiguiente demanda de materiales, que puede ser una oportunidad para utilizar materiales con emisiones negativas, especialmente en aislamientos térmicos.

El trabajo busca analizar el impacto ambiental de un edificio pequeño de viviendas construido con materiales convencionales para, posteriormente, plantear y analizar diferentes materiales alternativos de base biológica con emisiones negativas y, finalmente, volver a evaluar el impacto y compararlo con el original.

1.2 Objetivos

El objetivo del presente trabajo es, tras un estudio detallado de materiales, ofrecer una alternativa sostenible a la construcción con materiales convencionales.

Para ello se ha elegido un edificio entre medianeras, de 9 viviendas distribuidas en cuatro alturas, con una estructura y detalles constructivos comunes en los edificios de viviendas de promoción pública que se realizan actualmente, para que las conclusiones puedan ser extrapolables a otros edificios. Este edificio va a ser analizado constructivamente, especialmente en el impacto medioambiental de los materiales utilizados.

Posteriormente, se va a realizar una búsqueda de materiales alternativos para el edificio, de base biológica, que mantengan el mismo o tengan mejor rendimiento, y que funcionen como almacén de carbono, al ser capaces de absorber CO₂ durante su producción (crecimiento natural).

Tras el análisis de dichos materiales, se van a modificar las características constructivas del edificio estudiado previamente, y se van a diseñar nuevos detalles constructivos con materiales de base biológica. Se concluirá con una comparativa sobre el impacto medioambiental en ambos casos expuestos previamente, analizando la viabilidad de la propuesta con los nuevos materiales.

1.3 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)

Los ODS nacen en 2015 en la Cumbre de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas junto con la agenda 2030 [ONU 2015], con el objetivo de lograr un desarrollo sostenible y equitativo en todos los países, abordando un gran abanico de temas, que van desde la erradicación de la pobreza hasta el fomento de la igualdad o el desarrollo económico sostenible.

El presente trabajo busca ofrecer soluciones constructivas con materiales de base biológica para el desarrollo de nuestras ciudades, donde la sostenibilidad y la huella de carbono neutra estén en el centro del proyecto. Es, por tanto, el ODS nº13: Acción por el clima el objetivo principal de este trabajo, ya que se pretende obtener alternativas constructivas para evitar el uso de productos de construcción que liberan gran cantidad de gases contaminantes durante su producción, incrementando el efecto invernadero y contribuyendo al cambio climático.

Los productos de base biológica son materiales cuya materia prima procede de la naturaleza, mayoritariamente de los troncos de los árboles, como los aislamientos de corcho o las estructuras de madera. Aunque pueda parecer que su uso puede ser perjudicial para los bosques, debido a que puede producir un aumento de la deforestación, la realidad es todo lo contrario.

Si los productos proceden de bosques que cuentan con certificaciones de gestión forestal sostenible, como PEFC [PEFC 2021], no solo no es perjudicial la tala, sino que aportan beneficios a los bosques. El objetivo nº15: Vida de los ecosistemas terrestres aboga por una gestión sostenible de los bosques, el uso de madera en la construcción contribuye a la regeneración de estos. Una adecuada gestión y repoblación aumenta la capacidad de retención de CO₂, los árboles jóvenes son capaces de absorber y fijar mayores cantidades de carbono, mientras que los más maduros se encuentran más limitados en esta tarea. Por lo que se talan y se usan en la construcción, donde conservan su capacidad de almacenamiento de CO₂.

El hecho de que los materiales analizados estén producidos mayoritariamente con elementos naturales, reduce la contaminación del agua y del aire en relación con la producida por productos

convencionales, especialmente los de base mineral. Por lo que el ODS nº 3 Salud y bienestar y el nº6 Agua limpia y saneamiento intervienen claramente en el trabajo, ya que se minimiza el impacto ambiental en la producción de materiales.

Otro de los objetivos planteados por la ONU es garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna (nº7). Los materiales de construcción convencionales tienen una alta energía embebida, mayoritariamente procedente de fuentes no renovables. En la transformación de las materias primas biológicas en productos de construcción, se utiliza principalmente fuentes de energía renovables, promoviendo la transición sostenible y reduciendo la dependencia de los combustibles fósiles.

No hay duda de que actualmente la producción de este tipo de materiales en el mercado es reducida y, por tanto, su disponibilidad a gran escala es baja. Sin embargo, supone una gran oportunidad de transformación de la industria hacia una economía sostenible. Incrementar la demanda y uso de estos materiales de construcción puede ser uno de los caminos en la búsqueda de una industria, innovación e infraestructuras inclusivas y sostenibles (ODS nº9).

Aunque el trabajo esté centrado en un proyecto de nueva construcción, estos materiales sostenibles también pueden ser una gran oportunidad de cara a la rehabilitación de edificios de épocas anteriores. El ODS nº11: Ciudades y Comunidades Sostenibles busca reducir las emisiones de carbono de las ciudades (aproximadamente un 70% de las emisiones mundiales). Para lograr este fin, uno de los objetivos es mejorar la eficiencia energética de los edificios.

En la actualidad tenemos un parque de viviendas muy antiguo, en Europa un 64% del parque residencial se construyó entre 1945 y 1999 [Eurostat 2016]. En las próximas décadas se van a destinar muchos recursos a la rehabilitación de estos edificios y va a ser necesaria una gran cantidad de material de construcción para ello, siendo una oportunidad el uso de materiales de base biológica.

Por lo tanto, se puede afirmar que la construcción con materiales sostenibles está estrechamente relacionada con los objetivos de desarrollo sostenible planteados por la ONU. El cambio es responsabilidad de todas las partes involucradas en el proceso de construcción, desde el arquitecto hasta el promotor, pasando por las administraciones públicas y los productores de materiales. Pero también es responsabilidad del propietario final, es importante concienciar de que es posible construir de una manera más eficiente y responsable con el medio ambiente, y hay que pedir que así se haga.



Figura 5. Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). ONU (2015).

1.4 Metodología

La metodología empleada en el trabajo se basa en una investigación bibliográfica previa de artículos acerca de la construcción sostenible y de materiales de base biológica y mineral. A partir de esos datos se estructura el trabajo de la siguiente manera:

1. Se estudia la construcción de un edificio típico de viviendas para determinar el impacto ambiental de la producción de sus materiales, que serán sustituidos en una fase posterior por materiales sostenibles.
2. Se analizan las propiedades y los impactos ambientales de diferentes tipos de materiales de base biológica, con el objetivo de obtener datos para la nueva propuesta constructiva.
3. Se elabora una nueva propuesta material para el edificio analizado. Se cuantifica el impacto ambiental de la producción de los materiales empleados, para su posterior comparación.
4. Para finalizar se elabora una conclusión, donde se recogen los datos obtenidos del impacto medioambiental de la solución constructiva original y de la nueva con materiales de base biológica.

Debido a que gran parte de la investigación se basa en los datos del análisis del ciclo de vida de diferentes materiales, se va a explicar de qué se trata esta herramienta de análisis y la fuente de cada una de las declaraciones ambientales que sirven de referencia para el trabajo.

1.4.1 Análisis del Ciclo de Vida (ACV)

Según la norma ISO 14040 se entiende el ciclo de vida de un producto como “una técnica para determinar los aspectos ambientales e impactos potenciales asociados a un producto: compilando un inventario de las entradas y salidas relevantes del sistema, evaluando los impactos ambientales potenciales asociados a esas entradas y salidas, interpretando los resultados de las fases de inventario e impacto en relación con los objetivos del estudio”. [ISO 2006]

Estos impactos se encuentran categorizados en los siguientes grupos:

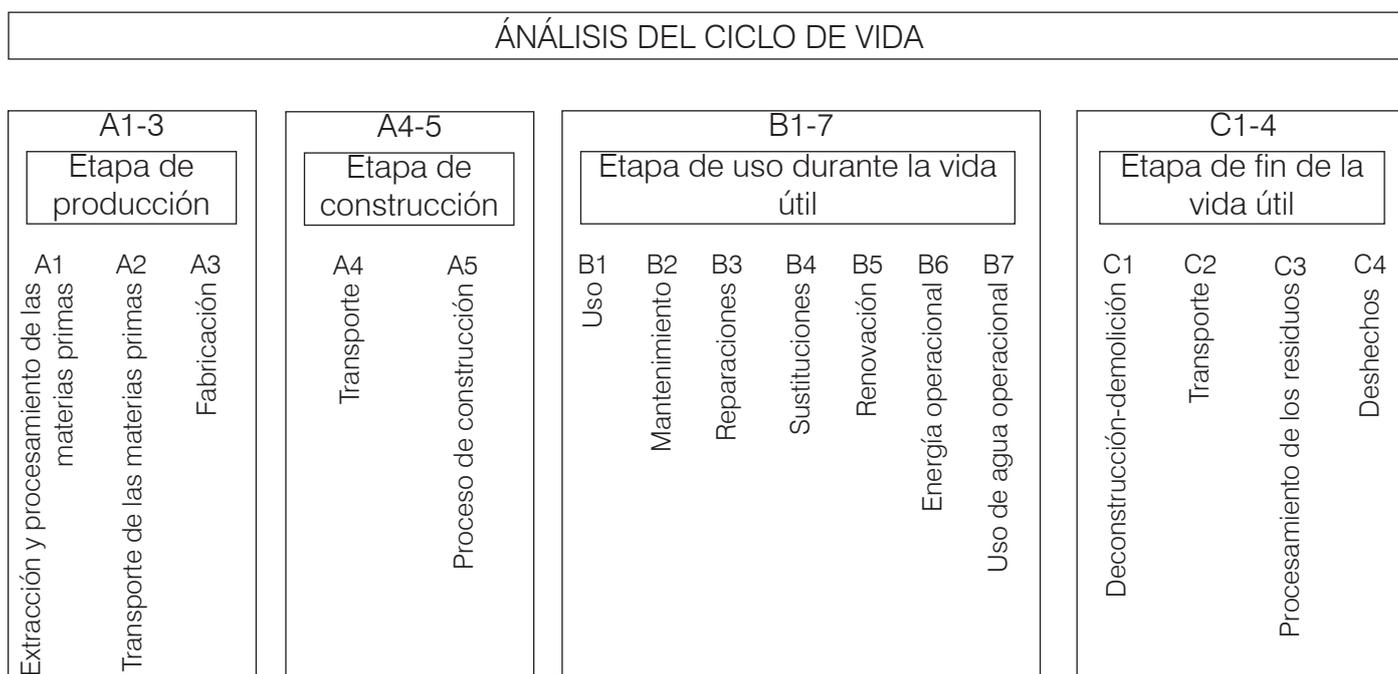


Figura 6. Fases del análisis del ciclo de vida según EN 15804. Elaboración propia.

Debido a la falta de información de la ubicación de las fábricas/industrias donde se han producido los diferentes materiales originales, así como a la maquinaria y procesos de construcción exactos utilizados en obra original, el análisis del trabajo se centra únicamente en la etapa de producción (análisis de cuna a puerta) de los materiales (A1-A3 del ACV).

Las fases consideradas son las siguientes:

A1: EXTRACCIÓN Y PROCESAMIENTO DE LAS MATERIAS PRIMAS: En referencia a todos los procesos y actividades necesarias para la extracción de las materias primas, así como a las aportaciones del medioambiente. Esta fase se desarrolla de manera íntegra en el lugar de obtención de las materias primas.

A2: TRANSPORTE DE LAS MATERIAS PRIMAS A LA FÁBRICA

A3: FABRICACIÓN: Tiene en cuenta todas las actividades, uso de energía y materiales que intervienen para convertir las materias primas en el producto final listo para el transporte a su destino.

Los datos que sirven de base para los estudios del trabajo han sido obtenidos de declaraciones ambientales de los diferentes productos, todas ellas realizadas siguiendo la normativa EN 15804 [AENOR 2020], por lo que los datos de los diferentes materiales son comprobables entre sí, siempre y cuando se estén contrastando en las mismas unidades. Se ha procurado emplear el menor número de bases de datos diferentes y de entidades certificadoras.

Se va a analizar principalmente:

- Carbón embebido (de cuna a puerta): es el carbón que se encuentra incorporado en las materias primas, así como el emitido durante la extracción, transporte y producción.
- Energía embebida (de cuna a puerta): es la energía total consumida en la extracción, transporte y producción del material.

Los materiales que se van a analizar son los correspondientes a las siguientes partes del edificio:

- Cimentación
- Estructura
- Cerramientos
- Tabiquería
- Cubierta

Las declaraciones ambientales para cada producto empleadas son las siguientes:

Material	Titular de la Declaración	Entidad Certificadora	Normativa
Hormigón	Asociación Nacional Española de Fabricantes de Hormigón Preparado	Global EPD y Aenor	UNE EN 15804 UNE EN 16757:2018
Mortero Cal	Grupo Puma	Global EPD y Aenor	UNE-EN 15804 UNE-EN ISO 14044
Mortero Cemento (recub. cerámicos)	Grupo Puma	Global EPD y Aenor	UNE-EN 15804 UNE-EN ISO 14025
Mortero Cemento (hidrófugo)	Grupo Puma	Global EPD y Aenor	UNE-EN 15804 UNE-EN ISO 14025
Mortero Cemento (relleno)	Grupo Puma	Global EPD y Aenor	UNE-EN 15804 UNE-EN ISO 14025
Enlucido de Yeso	Asociación Técnica y Empresarial del Yeso	Global EPD y Aenor	UNE-EN 15804 UNE-EN ISO 14025
Ladrillos	Hispalyt	Global EPD y Aenor	UNE-EN 15804 EN ISO 14025
Recubrimientos Cerámicos	Asociación Española de Fabricantes de Azulejos y Pavimentos Cerámicos	Global EPD y Aenor	UNE-EN 15804 EN ISO 14025
Lana de Roca	Knauf Insulation Sprl	EPD International	EN 15804 EN 16783
Lámina Geotextil	Danosa	EPD International	EN 15804 ISO 14025
Aislamiento de Poliestireno Extr.	Danosa	EPD International	EN 15804 ISO 14025
P. Cartón-Yeso	Saint-Gobain Placo Ibérica	EPD International	EN 15804 ISO 21930
Perfilería Metálica	Placo Saint-Gobain	EPD International	EN 15804 ISO 14025
Panel CLT	Egoín	EPD International	EN 15804 ISO 14025
Aislamiento de fibra de madera	STEICO SE	IBU	EN 15804 ISO 14025
Aislamiento de corcho	SOFALCA	DAPHabitat System	EN 15804 ISO 14025
Árido ligero de arcilla expandida	LECA PORTUGAL	DAPHabitat System	EN 15804 ISO 14025
Lámina impermeable	Aslfatos Chova y CAATEEB	DAPcons	EN 15804 ISO 14025
Barrera vapor	Phønix Tag Materialer	EPD Danmark	EN 15804 ISO 14025
Madera laminada encolada de castaño	Proyecto "Grupo operativo Madera Construcción Sostenible"	Global EPD	UNE-EN 15804 UNE-EN ISO 14025
Madera aserrada estructural de pino silvestre	Proyecto "Grupo operativo Madera Construcción Sostenible"	Global EPD	UNE-EN 15804 UNE-EN ISO 14025
Entramado de madera	Institut technologique FCBA	FCBA	EN 15804

Tabla 1. Tabla resumen de las fuentes de declaraciones ambientales. Elaboración propia.

2. CASO DE ESTUDIO Y ANÁLISIS CONSTRUCTIVO:

El trabajo va a analizar constructivamente un edificio, para después proponer una alternativa constructiva sostenible con materiales de base biológica.

2.1 Presentación del Caso de Estudio:

El edificio escogido se encuentra situado en el municipio de Paterna, en la provincia de Valencia. Está construido en un solar de 311,62 m² de superficie que tiene un desnivel de 1,1m, y un frente de fachada a la vía pública de 10,27 m.

Está formado por 9 viviendas distribuidas en planta baja + tres alturas y un ático. Situando una vivienda en la planta baja y dos viviendas por planta en el resto de niveles. Además se construye también una planta sótano con 7 plazas de aparcamiento y 7 trasteros. Las viviendas se diseñan dividiéndolas en dos zonas claramente diferenciadas: la zona de día (salón, comedor y cocina), recayente sobre la calle, y la zona de noche (dormitorios y aseos) sobre el patio interior de manzana.

A continuación se incluye una descripción gráfica del edificio.



Figura 7. Imagen del proyecto construido. Elaboración propia.

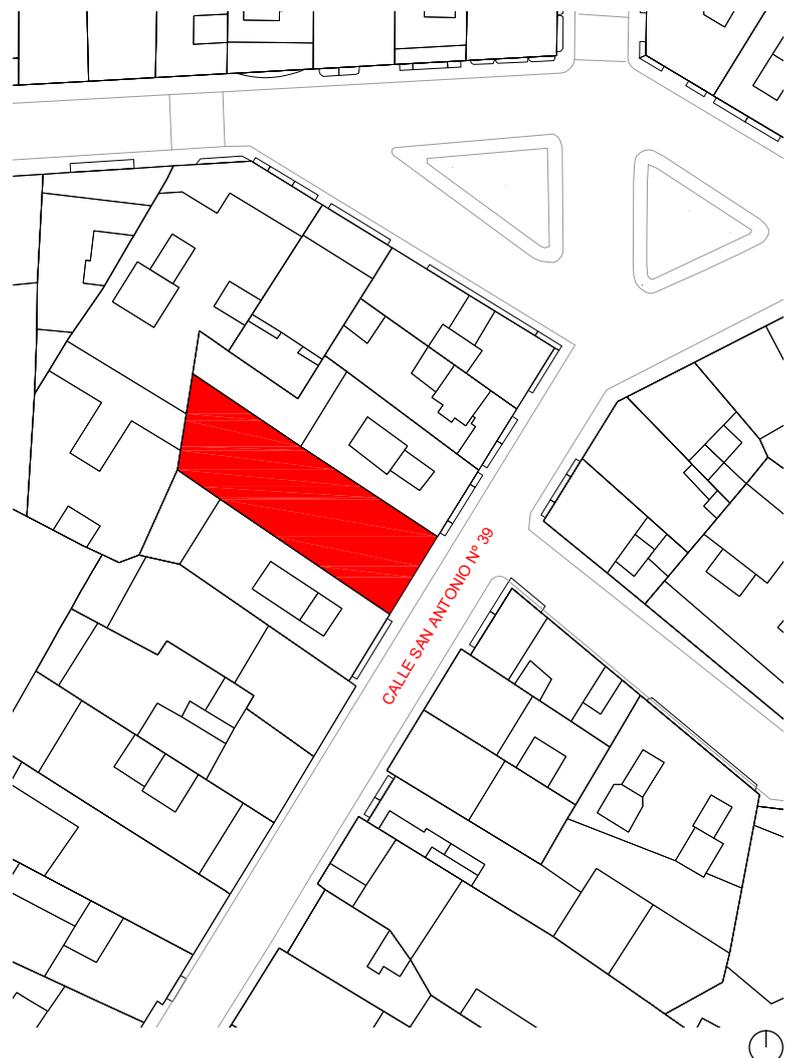


Figura 8. Plano de situación. Hervás (2020).

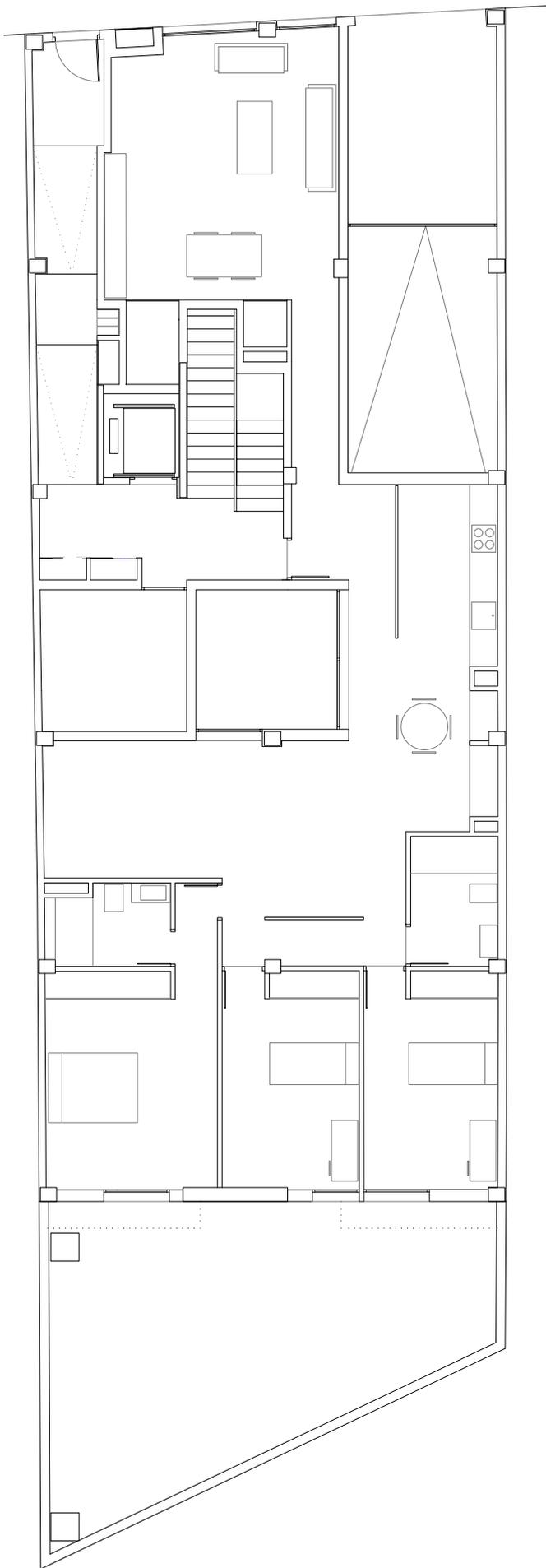


Figura 9. Planta baja. Hervás (2020).

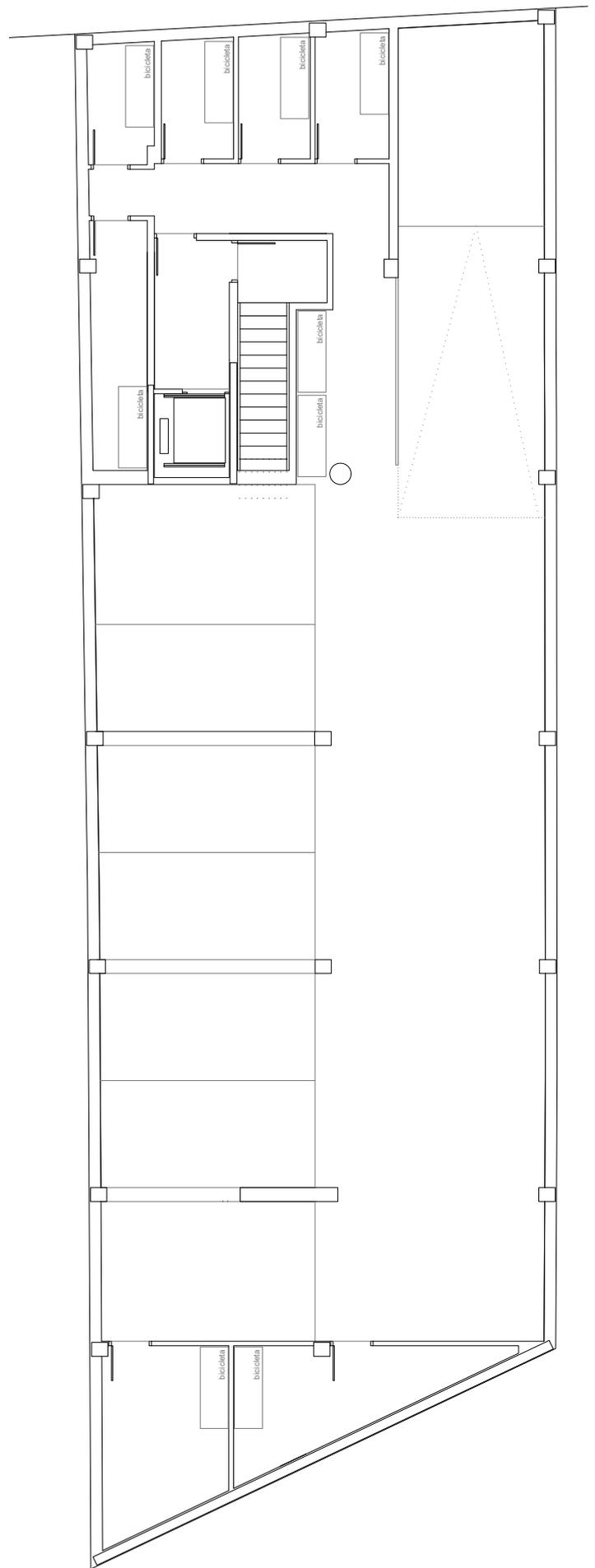


Figura 10. Planta sótano. Hervás (2020).

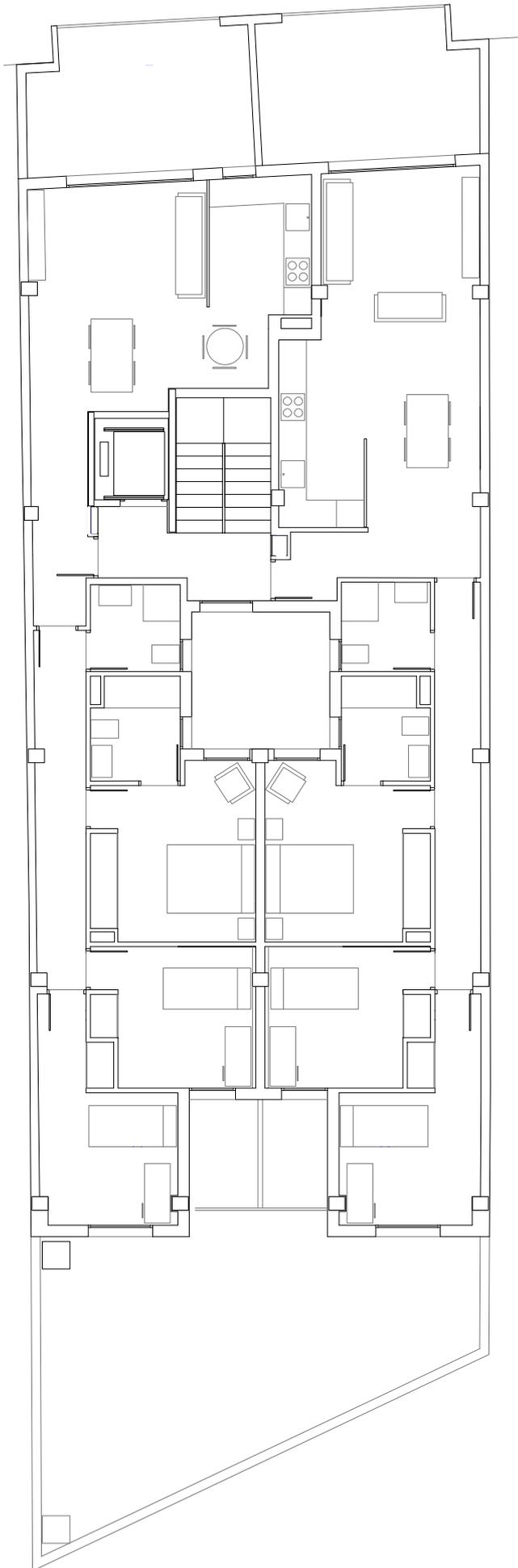


Figura 11. Planta tipo. Hervás (2020).

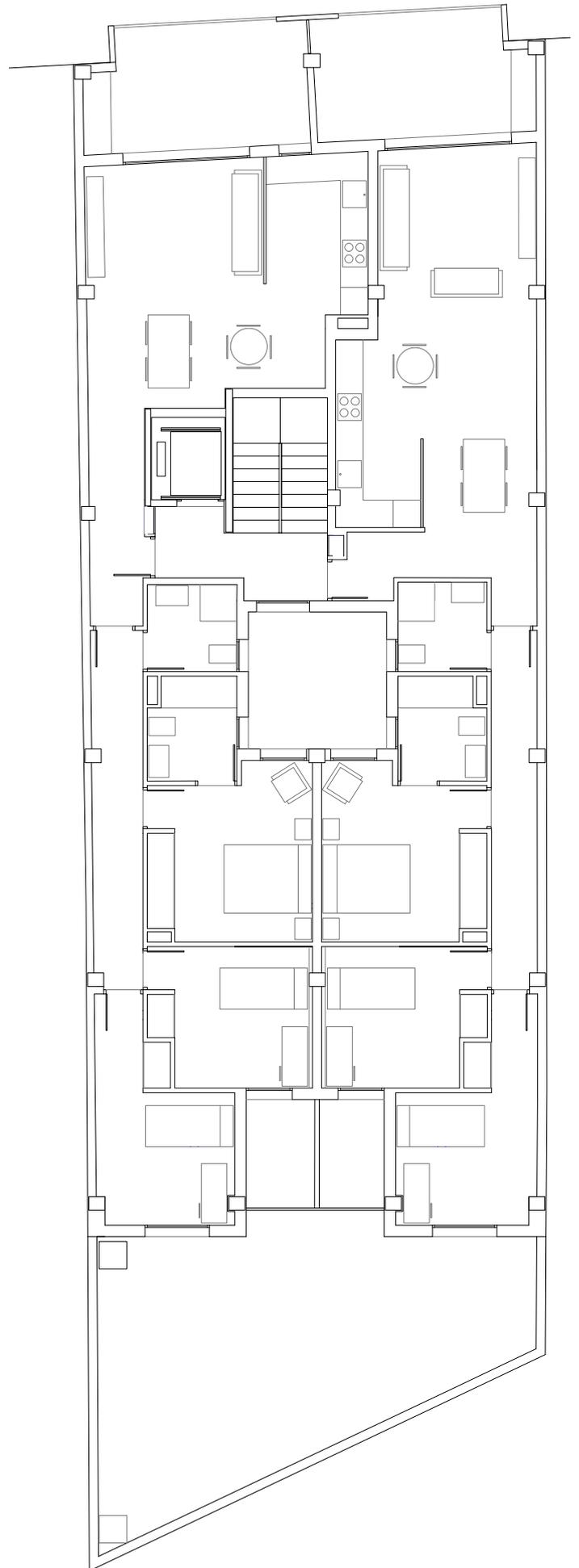


Figura 12. Planta ático. Hervás (2020).

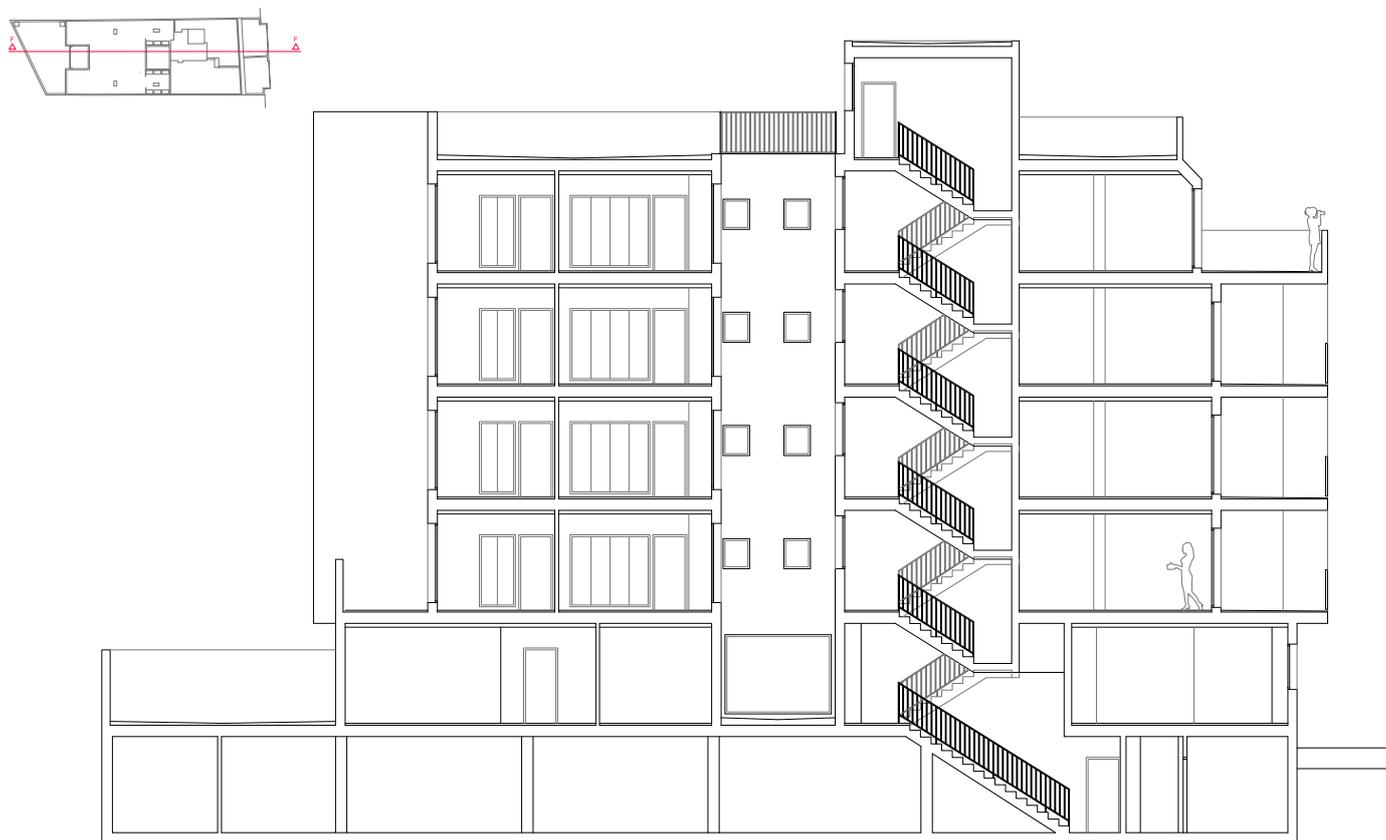


Figura 13. Sección longitudinal.Hervás (2020).



Figura 14. Alzado frontal.Hervás (2020).

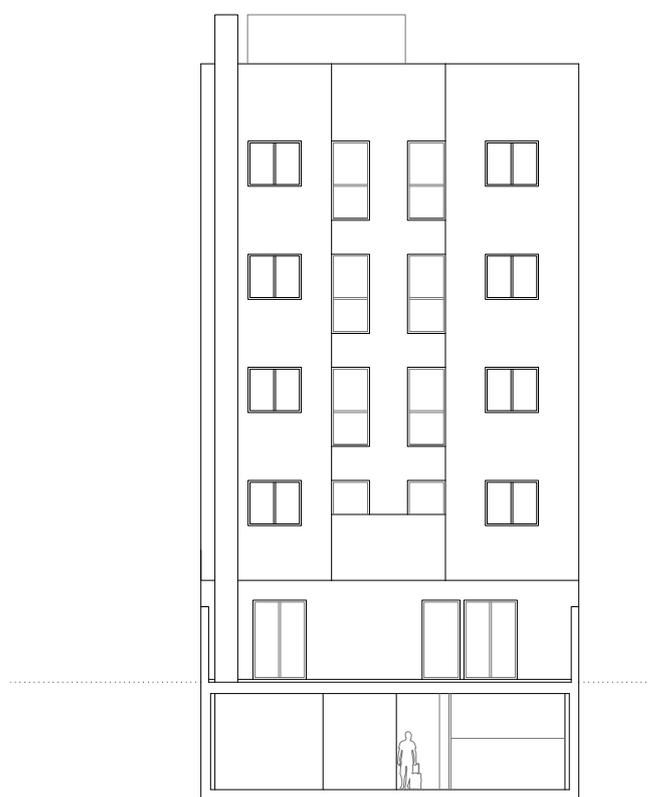


Figura 15. Alzado trasero.Hervás (2020).

2.2 Estudio Constructivo y Medioambiental:

A continuación se van a analizar los detalles constructivos del edificio, desde la cimentación hasta la tabiquería interior, evaluando el impacto medioambiental de los materiales utilizados.

2.2.1 Hormigón. Cimentación y Estructura:

La estructura del edificio, tanto la cimentación como los pilares y forjados se han materializado con HA-25/B/40/XC1. Para el análisis medioambiental de dicho hormigón, se utiliza como base el ACV realizado por la empresa AENOR, siguiendo la Norma Europea UNE-EN15804.

Este análisis ha sido realizado junto con la mayoría de plantas presentes en España y, por tanto, puede servir como una estimación fiable para comparar datos. Se van a utilizar los datos para hormigones de menor o igual resistencia característica de 25 MPa. Los datos genéricos por m³ de hormigón producido, con los que se va a realizar el análisis, son los siguientes:

Impactos Ambientales para la etapa de producción del hormigón (A1-A3):

Parámetro	Unidad	A1 Extracto y proceso de Materias Primas	A2 Transporte	A3 Fabricación	A1-A3 Producto
Potencial de Calentamiento Global (GWP)	kg CO ₂	215	5,1	2,56	223
Potencial de Agotamiento del Ozono Estratosférico (ODP)	kg CFC	1,63·10 ⁻¹	9,27·10 ⁻⁷	4,15·10 ⁻⁷	2,57·10 ⁻⁶
Potencial de Acidificación de la Tierra y el Agua (AP)	kg SO ₂	5,28·10 ⁻¹	1,37·10 ⁻²	1,89·10 ⁻²	5,61·10 ⁻¹

Tabla 2. Tabla impactos ambientales de 1m³ de hormigón. Fuente EPD Aenor.

Uso de Energía para la etapa de producción del hormigón (A1-A3):

Parámetro	Unidad	A1 Extracto y proceso de Materias Primas	A2 Transporte	A3 Fabricación	A1-A3 Producto
Energía Primaria Renovable (PERT)	MJ	9,9	0,1	6,48	9,75
Energía Primaria No Renovable (PENRT)	MJ	1670	71,6	40,6	1780
Combustibles Secundarios Renovables (RSF)	MJ	39,8	0	0	39,8
Combustibles Secundarios No Renovables (NRSF)	MJ	70,9	0	0	70,9

Tabla 3. Tabla uso de recursos de 1m³ de hormigón. Fuente EPD Aenor.

Del Análisis del Ciclo de Vida se observa como, desde el punto de vista del impacto ambiental, el proceso más contaminante es la extracción y procesamiento de las materias primas, representada mayormente por el contenido de cemento en la mezcla del hormigón. Por lo tanto, es el producto más perjudicial de la mezcla.

Del ACV que realiza también AENOR sobre CEM I (por kg), el utilizado en el edificio analizado, observamos lo comentado anteriormente:

Parámetro	Unidad	A1 Extracto y proceso de Materias Primas	A2 Transporte	A3 Fabricación	A1-A3 Producto
Potencial de Calentamiento Global (GWP)	kg CO ₂	56,2	1,36	814	884

Tabla 4. Tabla impactos ambientales de 1kg de cemento. Fuente EPD Aenor.

Tanto la extracción como la fabricación del cemento (calcinación), producen grandes emisiones de CO₂ a la atmósfera. Por lo que, cuanto más se reduzca la cantidad de cemento por m³ de hormigón, más se reducirá el impacto ambiental de este.

Respecto al uso de energía en la producción del hormigón, el análisis destaca que aproximadamente el 97,4% de la energía empleada es no renovable, que corresponde también con la utilizada en la fabricación del cemento.

CIMENTACIÓN:

La cimentación del edificio está compuesta por un muro de sótano perimetral y zapatas aisladas y combinadas arriostradas mediante vigas, de hormigón armado.

El material principal a analizar en este capítulo es el hormigón armado, en sus diferentes variantes, para cada parte de la cimentación.

Zona	Tipo de Hormigón	Volumen de Hormigón
Solera de Asiento	HL-150/B/40	17,11 m ³
Zapatas, Vigas Centradoras y Riostras	HA-25/B/40/XC1	114,23 m ³
Muro de Sótano	HA-25/B/40/XC1	59,25 m ³
Solera	HA-25/B/40/XC1	61 m ³

Tabla 5. Tabla volúmenes de hormigón utilizados en la cimentación. Elaboración propia.

Carbón Total Embebido en la Producción del Hormigón para la Cimentación	56.104,57 kg CO ₂
--	------------------------------

Energía Total Embebida en la Producción del Hormigón para la Cimentación	478.134,2 MJ de la cual un 97,4% es no renovable
---	---

ESTRUCTURA HORIZONTAL:

La estructura horizontal del edificio está realizada mediante forjados bidireccionales de hormigón armado, aligerados con casetones prefabricados de hormigón, materializados con el mismo hormigón que la cimentación: HA-25/B/40/XC1.

El volumen¹ de hormigón utilizado en cada uno de los forjados es el siguiente:

Zona	Volumen de Hormigón
Forjado Planta Baja	60,75 m ³
Forjado Planta 1	57,74 m ³
Forjado Planta 2	55,94 m ³
Forjado Planta 3	55,94 m ³
Forjado Planta 4	55,94 m ³
Forjado Planta Cubierta	48,48 m ³
Forjado Casetón Escalera	4,04 m ³
TOTAL	338,83 m³

Tabla 6. Tabla volúmenes de hormigón utilizados en la estructura horizontal. Elaboración propia.

Carbón Total Embebido en la Producción del Hormigón para la Estructura Horizontal	75.559,09 kg CO ₂
--	------------------------------

Energía Total Embebida en la Producción del Hormigón para la Estructura Horizontal	860.136,9 MJ de la cual un 97,4% es no renovable
---	---

ESTRUCTURA VERTICAL:

Por lo que respecta a los elementos verticales de la estructura, el volumen de hormigón utilizado es el siguiente:

Zona	Volumen de Hormigón
Pilares Sótano	10,13 m ³
Pilares Planta Baja	8 m ³
Pilares Planta 1	6,87 m ³
Pilares Planta 2	6,58 m ³
Pilares Planta 3	6,43 m ³
Pilares Planta 4	6,23 m ³
Pilares Casetón	2,01 m ³
TOTAL	52,45 m³

Tabla 7. Tabla volúmenes de hormigón utilizados en la estructura vertical. Elaboración propia.

Carbón Total Embebido en la Producción del Hormigón para la Estructura Vertical	11.696,35 kg CO ₂
--	------------------------------

Energía Total Embebida en la Producción del Hormigón para la Estructura Vertical	99.678,6025 MJ de la cual un 97,4% es no renovable
---	---

¹ Para el cálculo del volumen de cada forjado se ha tenido en cuenta el ahorro de hormigón al utilizar los casetones prefabricados. Por simplificación, se ha incluido el hormigón de los casetones prefabricados junto con el utilizado en el resto del forjado.

2.2.2 Cerramientos y Particiones:

En el edificio hay diferentes tipos de cerramientos y particiones en función del lugar donde se encuentran, distinguiendo 9 tipos diferentes de muros (más el muro de sótano de hormigón, ya contabilizado en el apartado anterior).



Figura 16. Referencias cerramientos y particiones. Hervás (2020).

CERRAMIENTOS EXTERIORES:

T1 FACHADA EXTERIOR:

FACHADA EXTERIOR	668,62 m ²
Capas:	Espesor:
Mortero de Cal	1,5 cm
Ladrillo Triple Hueco SateBrick	11 cm
Enfoscado Hidrófugo	1 cm
Lana de Roca	6 cm
Trasdosado Placa de Cartón Yeso	1,5 cm

Tabla 8. Tabla capas fachada exterior original. Elaboración propia.

T2 FACHADA EXTERIOR PLANTA BAJA:

FACHADA EXTERIOR PLANTA BAJA	74,03 m ²
Capas:	Espesor:
Aplacado Cerámico	2 cm
Maestreado de Mortero de Cemento	1,5 cm
Ladrillo Triple Hueco SateBrick	11 cm
Enfoscado Hidrófugo	1 cm
Lana de Roca	6 cm
Trasdosado Placa de Cartón Yeso	1,5 cm

Tabla 9. Tabla capas fachada exterior planta baja original. Elaboración propia.

T3 MURO MEDIANERO:

MURO MEDIANERO	654,58 m ²
Capas:	Espesor:
Ladrillo Triple Hueco SateBrick	11 cm
Enfoscado Hidrófugo	1 cm
Lana de Roca	6 cm
Trasdosado Placa de Cartón Yeso	1,5 cm

Tabla 10. Tabla capas fachada medianera original. Elaboración propia.

Resumen de Materiales en Fachadas Exteriores	m ²
Aplacado Cerámico	74,03
Mortero de Cal	668,62
Maestreado de Mortero de Cemento	74,03
Ladrillo Triple Hueco SateBrick	1.397,23
Enfoscado Hidrófugo	1.397,23
Lana de Roca	1.397,23
Trasdosado Placa de Cartón Yeso	1.397,23

Tabla 11. Tabla resumen de las superficies de materiales de las fachadas. Elaboración propia.

Impactos Ambientales para la etapa de producción de cada material de la fachada (A1-A3):

		A1-A3 Producto por cada m ²							
Parámetro		Unidad	Aplacado Cerámico	Mortero de Cal	Mortero de Cemento	Ladrillo	Enfoscado hidrófugo	6cm L.Roca	Cartón Yeso
Impactos ambientales	Potencial de Calentamiento Global (GWP)	kg CO ₂	10,7	3,57	0,70	14,05	0,82	6,54	4,47
	Potencial de Agotamiento del Ozono Estratosférico (ODP)	kg CFC	5,9·10 ⁻⁸	3·10 ⁻⁷	4,35·10 ⁻⁸	9,76·10 ⁻¹⁰	6,06·10 ⁻⁸	9·10 ⁻¹²	2,36·10 ⁻⁸
	Potencial de Acidificación de la Tierra y el Agua (AP)	kg SO ₂	1,7·10 ⁻²	9,99·10 ⁻³	1,74·10 ⁻³	0,05	2,59·10 ⁻³	0,05	4,01·10 ⁻³
Uso de recursos	Energía Primaria Renovable (PERT)	MJ	15,3	13,4	2,58	23,98	2,36	17,64	10,5
	Energía Primaria No Renovable (PENRT)	MJ	154,3	35,1	6,2	149,99	7,35	99,6	30,1
	Combustibles Secundarios Renovables (RSF)	MJ	0	0	0	2,33·10 ⁻⁴	0	0	0
	Combustibles Secundarios No Renovables (NRSF)	MJ	0	0	0	2,45·10 ⁻³	0	0	0

Tabla 12. Tabla resumen impacto de los materiales de la fachada. Fuente EPDs productos.

Impacto total de todos los materiales utilizados en la fachada:

		A1-A3 TOTAL						
Parámetro	Unidad	Aplacado Cerámico	Mortero de Cal	Mortero de Cemento	Ladrillo	Enfoscado hidrófugo	Lana de Roca	Cartón Yeso
Carbón total embebido	kg CO ₂	792	2.386,9	51,82	19.631	1.145,73	9.137,9	6.246
Energía total embebida	MJ	12.555	32.428	650	243.080	13.567,1	163.811	56.727

Tabla 13. Tabla resumen impacto total de los materiales de la fachada. Elaboración propia.

PARTICIONES INTERIORES:

La mayor parte de los tabiques originales del edificio están realizados mediante entramados metálicos autoportantes de placas de cartón yeso y lana de roca, con diferentes acabados según la estancia. A excepción de la tabiquería de los trasteros y de separación de las viviendas con los elementos comunes y con la caja de escaleras.

T4 SEPARACIÓN ENTRE VIVIENDAS:

T. SEPARACIÓN VIVIENDAS	156,28 m ²
Capas:	Espesor:
Doble Placa de Cartón Yeso	3 cm
Aislamiento de Lana de Roca	6 cm
Chapa de acero	0,5 cm
Placa de Cartón Yeso	1,5 cm
Aislamiento de Lana de Roca	6 cm
Doble Placa de Cartón Yeso	3 cm

Tabla 14. Tabla capas tabiques separación de viviendas original

T5 CAJA DE ESCALERAS Y SEPARACIÓN VIVIENDAS CON ELEMENTOS COMUNES:

T. C.AJA ESC. Y SEP. EE.CC	294,68 m ²
Capas:	Espesor:
Enlucido de Yeso	1,5 cm
Ladrillo Panal	11,5 cm
Enfoscado de Mortero	1,5 cm
Lana de Roca	8 cm
Doble Placa de Cartón Yeso	3 cm

Tabla 15. Tabla capas tabiques caja de escaleras y separación con elementos comunes original. Elaboración propia.

T6 DISTRIBUCIÓN INTERIOR:

T.DISTRIBUCIÓN INTERIOR	460,6 m ²
Capas:	Espesor:
Trasdosado Placa de Cartón Yeso	1,5 cm
Aislamiento de Lana de Roca	6 cm
Trasdosado Placa de Cartón Yeso	1,5 cm

Tabla 16. Tabla capas tabiques de distribución interior original. Elaboración propia.

T7 ALICATADO A UNA CARA:

T. ALICATADO A UNA CARA	213 m ²
Capas:	Espesor:
Trasdosado Placa de Cartón Yeso	1,5 cm
Aislamiento de Lana de Roca	6 cm
Trasdosado Placa de Cartón Yeso	1,5 cm
Maestreado de Mortero de Cemento	1,5 cm
Alicatado Cerámico	2 cm

Tabla 17. Tabla capas tabiques alicatados a una cara original. Elaboración propia.

T8 ALICATADO A DOS CARAS:

T. ALICATADO A DOS CARAS	43,2 m ²
Capas:	Espesor:
Alicatado Cerámico	2 cm
Maestreado de Mortero de Cemento	1,5 cm
Trasdosado Placa de Cartón Yeso	1,5 cm
Aislamiento de Lana de Roca	6 cm
Trasdosado Placa de Cartón Yeso	1,5 cm
Maestreado de Mortero de Cemento	1,5 cm
Alicatado Cerámico	2 cm

Tabla 18. Tabla capas tabiques alicatados a dos caras original. Elaboración propia.

T9 TABIQUERÍA TRASTEROS

T.TRASTEROS	73 m ²
Capas:	Espesor:
Enlucido de yeso	1,5 cm
Ladrillo hueco (LH7)	7 cm
Enlucido de yeso	1,5 cm

Tabla 19. Tabla capas tabiques trasteros original. Elaboración propia.

Resumen de Materiales en la Tabiquería	m ²
Alicatado Cerámico	299,4
Enlucido de Yeso	440,68
Mortero de Cemento	594,08
Ladrillo Panal	294,68
Ladrillo Hueco 7	73
Chapa de acero	156,28
Lana de Roca 6 cm	873,08
Lana de Roca 8 cm	294,68
Trasdosado Placa de Cartón Yeso	2.804,36
Entramado metálico autoportante	873,08

Tabla 20. Tabla resumen de las superficies de materiales de la tabiquería. Elaboración propia.

Impactos Ambientales para la etapa de producción de cada material de la tabiquería (A1-A3):

		A1-A3 Producto por cada m ²									
	Parámetro	Unidades	Alicatado Cerámico	Enl. de Yeso	Mortero de Cemento	L.Panal	LH7	6cm L.Roca	8cm L.Roca	Cartón Yeso	Entram. metálico
Impactos ambientales	Potencial de Calentamiento Global (GWP)	kg CO ₂	10,7	5,04	0,70	33,98	28,56	6,54	8,72	4,47	1,67
	Potencial de Agotamiento del Ozono Estratosférico (ODP)	kg CFC	5,9·10 ⁻⁸	1,21·10 ⁻⁸	4,35·10 ⁻⁸	2,36·10 ⁻⁹	1,98·10 ⁻⁹	9·10 ⁻¹²	1,2·10 ⁻¹¹	2,36·10 ⁻⁸	1,11·10 ⁻⁷
	Potencial de Acidificación de la Tierra y el Agua (AP)	kg SO ₂	1,7·10 ⁻²	6,45·10 ⁻⁴	1,74·10 ⁻³	1,67·10 ⁻³	1,4·10 ⁻³	0,05	0,07	4,01·10 ⁻³	7,78·10 ⁻³
Uso de recursos	Energía Primaria Renovable (PERT)	MJ	15,3	7,43	2,58	58,03	48,76	17,64	23,52	10,5	2,26
	Energía Primaria No Renovable (PENRT)	MJ	154,3	45,14	6,2	362,9	304,9	99,6	132,8	30,1	17,78
	Combustibles Secundarios Renovables (RSF)	MJ	0	0	0	5,64·10 ⁻⁴	4,74·10 ⁻⁴	0	0	0	0
	Combustibles Secundarios No Renovables (NRSF)	MJ	0	0	0	5,93·10 ⁻³	5·10 ⁻³	0	0	0	0

Tabla 21. Tabla resumen impacto de los materiales de la tabiquería. Fuente EPDs productos

Impacto total de todos los materiales utilizados en la tabiquería:

		A1-A3 TOTAL									
Parámetro	Unidades	Alicatado Cerámico	Enl. de Yeso	Mortero de Cemento	L.Panal	LH7	6cm L.Roca	8cm L.Roca	Cartón Yeso	Entram. metálico	
Carbón total embebido	kg CO ₂	3.203,6	2.221,03	415,86	10.013,6	2.084,9	5.709,94	2.569,6	12.535,5	1.455	
Energía total embebida	MJ	50.778,2	23.166,55	5.216,02	124.047	25.817,6	102.359	46.064,4	113.857	17.494,9	

Tabla 22. Tabla resumen impacto total de los materiales de la tabiquería. Elaboración propia.

2.2.3 Cubierta:

El forjado de cubierta ya ha sido contabilizado en el capítulo 2.2.1, por lo que en este únicamente se analizará el impacto de los materiales que no forman parte de la estructura. Se incluye en este apartado las terrazas privadas de las viviendas, la cubierta común del edificio, las pertenecientes a los áticos y la cubierta del casetón de la escalera y ascensor.

CUBIERTA TIPO 1: Cubierta común (175,22 m²), terrazas planta 1 (31,73 m²) y terrazas ático (29,66 m²).

CUBIERTA TIPO 1	236,61 m ²
Capas:	Espesor:
Barrera de vapor bituminosa	0,2 cm
Aislamiento XPS	6 cm
Arcilla expandida para formación de pendientes	10 cm
Mortero de cemento de regularización	2 cm
Lámina bituminosa impermeable	0,4 cm
Mortero de cemento	5,5 cm
Pavimento de baldosas	1,5 cm

Tabla 23. Tabla capas cubierta tipo 1. Elaboración propia.

CUBIERTA TIPO 2: Terraza planta baja (61 m²) y terrazas planta 2 y 3 (25,7 m²) .

CUBIERTA TIPO 2	86,7 m ²
Capas:	Espesor:
Barrera de vapor bituminosa	0,2 cm
Arcilla expandida para formación de pendientes	10 cm
Mortero de cemento de regularización	2 cm
Lámina bituminosa impermeable	0,4 cm
Mortero de cemento	5,5 cm
Pavimento de baldosas	1,5 cm

Tabla 24. Tabla capas cubierta tipo 2. Elaboración propia.

CUBIERTA TIPO 3: Casetón escalera (13,71 m²) y casetón ascensor (4,08 m²) .

CUBIERTA TIPO 3	17,79 m ²
Capas:	Espesor:
Arcilla expandida para formación de pendientes	10 cm
Mortero de cemento de regularización	2 cm
Lámina bituminosa impermeable	0,4 cm
Lámina geotextil	0,4 cm
Grava lavada de 20 mm	8 cm

Tabla 25. Tabla capas cubierta tipo 3. Elaboración propia.

Las declaraciones ambientales de los productos empleados tienen como unidad funcional m², a excepción del mortero de cemento y la arcilla expandida, que se encuentra medido en m³.

Resumen de Materiales en la Cubierta	m ²
Barrera de vapor bituminosa	323,31
Aislamiento XPS	236,61
Lámina bituminosa impermeable	341,1
Pavimento de baldosas	323,31
Lámina geotextil	17,79
Grava lavada	17,79
Arcilla expandida para formación de pendientes	34,1 m ³
Mortero de cemento	24,6 m ³

Tabla 26. Tabla resumen de las superficies de materiales de la cubierta. Elaboración propia.

Impactos Ambientales para la etapa de producción de cada material de la cubierta (A1-A3):

		A1-A3 Producto por cada m ²							
Parámetro		Unidades	Barrera vapor	Ais. XPS	Arc.Expand.(m ³)	L. Imperm.	Pav. Baldosas	L.Geotextil	Mortero (m ³)
Impactos ambientales	Potencial de Calentamiento Global (GWP)	kg CO ₂	0,79	7	97,4	6,36	10,7	0,745	692
	Potencial de Agotamiento del Ozono Estratosférico (ODP)	kg CFC	8,93·10 ⁻⁹	6,55·10 ⁻⁹	5,55·10 ⁻⁶	1,62·10 ⁻⁶	5,9·10 ⁻⁸	6,93·10 ⁻⁸	3,57·10 ⁶
	Potencial de Acidificación de la Tierra y el Agua (AP)	kg SO ₂	1,45·10 ⁻³	1,37·10 ⁻⁴	0,53	3,23·10 ⁻²	1,7·10 ⁻²	7,68·10 ⁻³	1,53
Uso de recursos	Energía Primaria Renovable (PERT)	MJ	7,35	4,73	129	10,5	15,3	0,46	1630
	Energía Primaria No Renovable (PENRT)	MJ	66,4	155,23	963	219	154,3	9,12	4490
	Combustibles Secundarios Renovables (RSF)	MJ	0	0	202	0	0	0	0
	Combustibles Secundarios No Renovables (NRSF)	MJ	0	0	53,6	0	0	0	0

Tabla 27. Tabla resumen impacto de los materiales de la cubierta. Fuente EPDs productos.

Impacto total de todos los materiales utilizados en la cubierta:

		A1-A3 TOTAL						
Parámetro	Unidades	Barrera vapor	Ais. XPS	Arc.Expand.	L. Imperm.	Pav. Baldosas	L.Geotextil	Mortero
Carbón total embebido	kg CO ₂	255,41	1.845,3	3.322,31	2.169,4	3.459,42	13,25	17.023
Energía total embebida	MJ	23.844,11	1.119,72	45.966,64	78.282,45	54.833,38	170,43	150.552

Tabla 28. Tabla resumen impacto total de los materiales de la cubierta. Elaboración propia.

2.3 Análisis global del edificio:

Una vez analizado el impacto de la fabricación de los materiales empleados en la construcción de cada una de las principales partes del edificio, se van a evaluar globalmente el edificio.

ESTRUCTURA Y CIMENTACIÓN:

El impacto total, sólomente teniendo en cuenta la producción del hormigón, es decir, sin contar el transporte ni la puesta en obra del material, es el siguiente:

Carbón Total Embebido en la Producción del Hormigón	143,36 Toneladas de CO ₂
--	-------------------------------------

Las toneladas de CO₂ equivalen a recorrer aproximadamente 1 millón de km con un vehículo compacto; teniendo en cuenta datos del Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía [IDAE (s.f)], de donde se extrae que un vehículo de gasolina de consumo medio de 6L, emite 0,14 kg de CO₂ por cada km recorrido.

Energía Total Embebida en la Producción del Hormigón	1.437.949,7 MJ de la cual un 97,4% es no renovable
---	---

La energía utilizada equivale a 399.430,47 kWh, semejante a la energía consumida, aproximadamente, por 114 viviendas en un año; teniendo en cuenta datos del Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía [IDAE 2020], que cifra el consumo medio anual de un hogar en España en 3.487 kWh.

CERRAMIENTOS:

La repercusión de los materiales empleados en los cerramientos exteriores (contando en este grupo las fachadas y los muros medianeros) es la siguiente:

Carbón Total Embebido en la Producción de los materiales	39,39 Toneladas de CO ₂
---	------------------------------------

Utilizando la misma equivalencia que con la estructura, el CO₂ emitido sería el equivalente al de 280.000 km recorridos en coche, equivalente a realizar el trayecto Valencia-Madrid 788 veces en coche.

Energía Total Embebida en la Producción de los materiales	522.818 MJ
--	------------

Mientras que la energía equivale a 145.227,23 kWh, lo que se asemejaría al consumo anual de 41 viviendas.

PARTICIONES:

El impacto de los materiales utilizados en la construcción de la tabiquería interior del edificio es:

Carbón Total Embebido en la Producción de los materiales	40,2 Toneladas de CO ₂
---	-----------------------------------

El CO₂ emitido a la atmósfera en la fabricación de los materiales sería el equivalente a realizar 287.000 km en coche.

Energía Total Embebida en la Producción de los materiales	508.800 MJ
--	------------

Que convertido corresponde a 141.333,33 kWh, semejante al consumo eléctrico anual de 40 hogares en España.

CUBIERTA:

El impacto total, sólo teniendo en cuenta los materiales de recubrimiento, es decir, sin contar los forjados de cubierta, es el siguiente:

Carbón Total Embebido en la Producción de los materiales	28,09 Toneladas de CO ₂
---	------------------------------------

Las toneladas de CO₂ equivalen a recorrer aproximadamente 200.640 km con un vehículo compacto.

Energía Total Embebida en la Producción de los materiales	354.768 MJ
--	------------

La energía equivale a 98.546,66 kWh, lo que se asemejaría al consumo anual de 28 viviendas.

CONCLUSIONES:

Como se puede observar en las figuras 17 y 18, más de la mitad del impacto ambiental en la producción de los materiales para la construcción del edificio se debe a la estructura y a la cimentación, correspondiendo con un único material, el hormigón. Por lo tanto, el material principal a sustituir en el presente trabajo será el hormigón. El objetivo es reducir las emisiones de CO₂ a la atmósfera, así como la energía utilizada en el proceso de producción (el 97,4% de la empleada en el hormigón corresponde a fuentes no renovables).

Carbón total embebido:

251,04 Toneladas de CO₂ equivalente a recorrer 1.793.142 km con un vehículo compacto de gasolina.

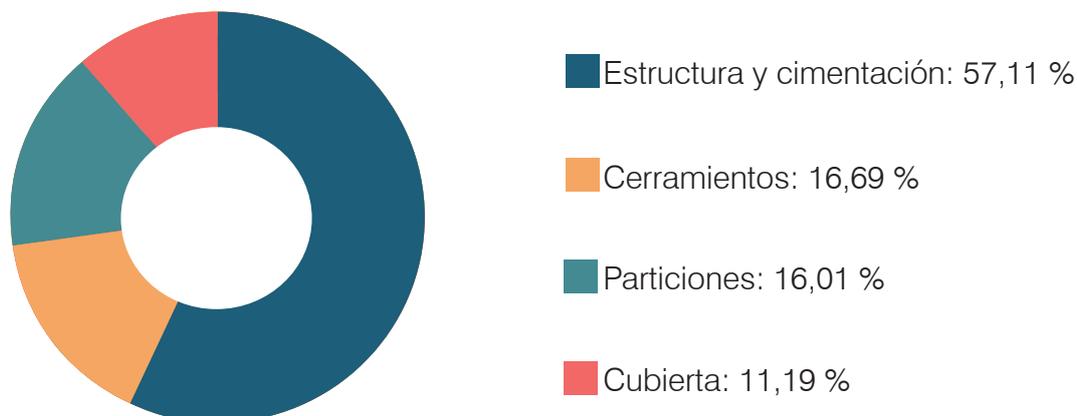


Figura 17. Carbón total embebido. Elaboración propia.

Energía total embebida:

2.824.336 MJ = 784.537,77 kWh semejante al consumo eléctrico anual de 225 hogares españoles.

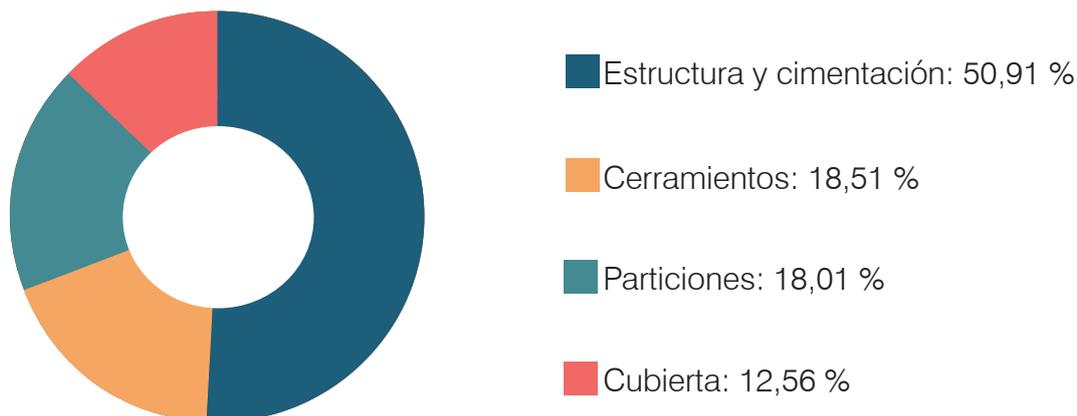


Figura 18. Energía total embebida. Elaboración propia.

3. MATERIALES DE BASE BIOLÓGICA

3.1 Materiales de Base Biológica:

Existen diferentes definiciones de materiales de base biológica según donde se consulte pero, atendiendo al objetivo dentro de la construcción y del presente trabajo, se podría definir como materiales elaborados a partir de productos de procedencia natural, que se pueden volver a producir (cultivar) causando beneficios en el medio ambiente. Es importante destacar la capacidad de regeneración y de generar un impacto positivo en el medio ambiente, ya que hay productos, cuyo origen también es natural como el petróleo, pero su uso implica un impacto negativo.

La aplicación de este tipo de materiales va desde la rehabilitación, hasta la obra nueva. Los materiales más conocidos son la madera o el bambú, utilizados como materiales estructurales principales, uso que se ha ido perdiendo con la aparición de materiales de base mineral como el acero o el hormigón. Sin embargo, los materiales de base biológica tienen un gran potencial como elementos de aislamiento, donde es posible utilizar materiales fabricados con corcho del alcornoque, virutas de madera o cultivos, como la paja. También se está extendiendo a otro tipo de materiales como al hormigón, como por ejemplo el Hempcrete; un hormigón producido con cáñamo, agua y cal.

Se pueden identificar principalmente dos categorías, según el tiempo necesario para tener de vuelta la biomasa empleada en la fabricación del material de construcción.

-De rápido crecimiento: en referencia a los productos derivados de plantaciones o cultivos anuales, rápidos de regenerar. Construir con este tipo de materiales cobra gran importancia desde el punto de vista de evitar el calentamiento global en un plazo corto, ya que permite su regeneración en un año y, por tanto, trasladar el CO₂ almacenado en ellos a las ciudades anualmente.

-De larga vida/lento crecimiento: en este grupo se incluye principalmente la madera, que dependiendo de la especie, puede llevar desde 20 años hasta más de 90, para regenerarse, es decir, para tener de vuelta un ejemplar similar.

Para que la construcción con materiales de base biológica implique un cambio real, es necesario que los materiales provengan de plantaciones y bosques certificados, donde se garantice una gestión sostenible y responsable. Siendo muy importante también el tratamiento de los materiales tras el final de su vida útil, porque de adoptarse métodos como la incineración, se estaría liberando todo el carbono almacenado, por lo que es crucial que estos materiales sean reciclados o reutilizados.



Figura 19. Uso de paja como cubierta. Sandak, Anna et al. (2019).

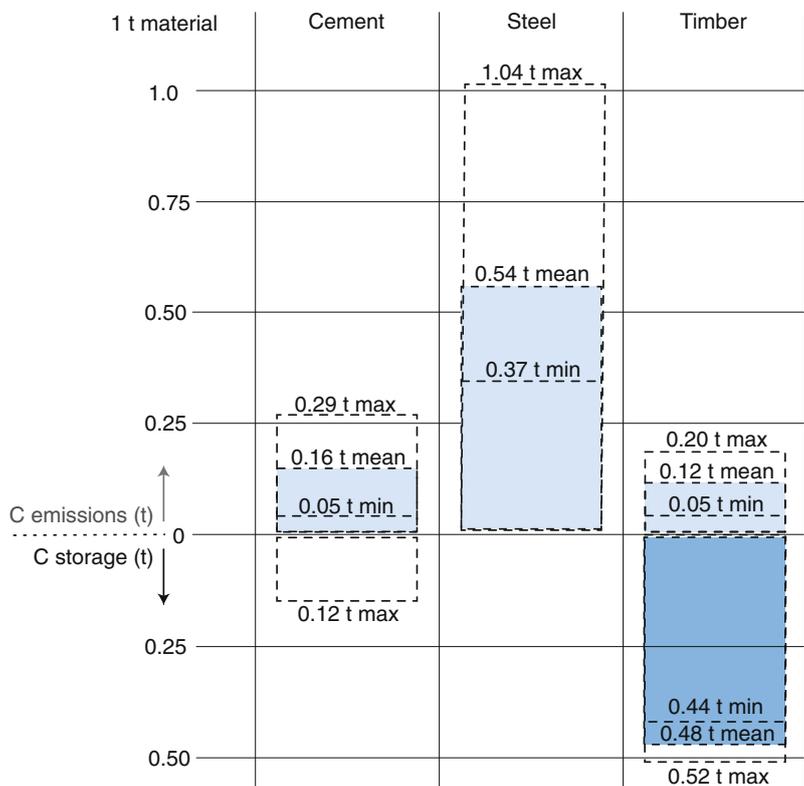


Figura 20. Emisiones y almacenamiento de carbono de 1 tonelada de material. Churkina et al. (2020).

Si se compara con los materiales que se utilizan habitualmente en la construcción, es evidente la ventaja a nivel medioambiental de emplear materiales de base biológica, donde no solo no se emite carbono, sino que se almacena, como se puede ver en la figura 20.

El hecho de utilizar energía renovable en la producción de materiales de base mineral (como el cemento o el acero) puede contribuir a reducir las emisiones. Sin embargo, no se trata de una solución, ya que para su fabricación se siguen emitiendo gases contaminantes producidos por las reacciones químicas como la calcinación. Además, la producción de estos materiales requiere de grandes cantidades de arena, extraídas de playas y ríos, que compromete la capacidad de absorción de CO₂ de los ecosistemas marinos.

La figura 21 muestra una comparativa entre las emisiones de CO₂ producidas por la fabricación, puesta en obra y vida útil de materiales cementosos, frente a la de materiales de base biológica. Se observa como la capacidad de almacenamiento de los materiales de base biológica aumenta debido a los procesos de fotosíntesis y disminuye levemente en las etapas A2-5, debido a la producción y puesta en obra del material. Sin embargo, los materiales cementosos emiten grandes cantidades de CO₂ en su producción pero, durante su vida útil, son capaces de secuestrar carbono mediante los procesos de carbonatación, lo que reduce las emisiones totales de los materiales.

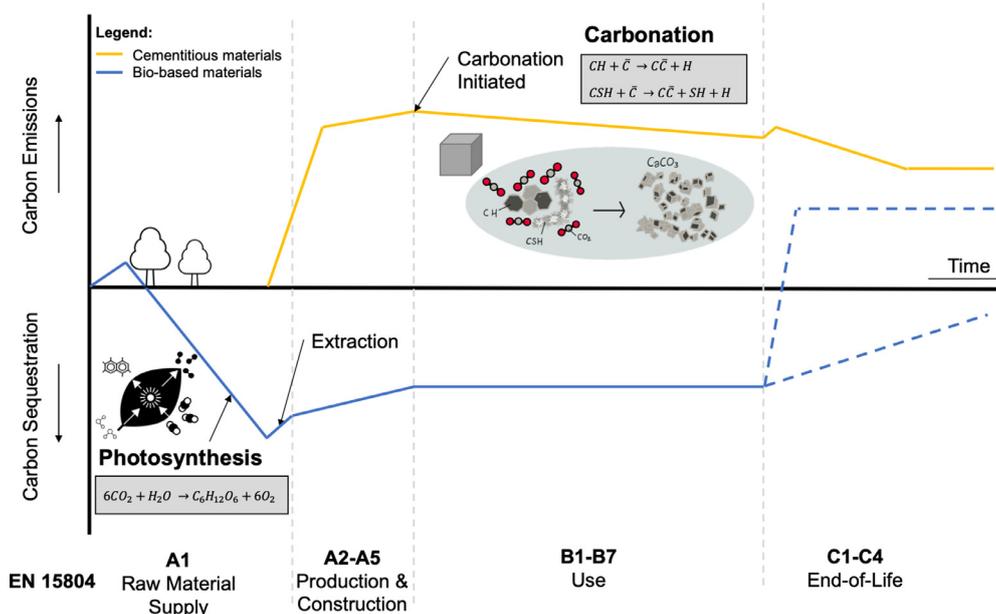


Figura 21. Emisiones y almacenamiento de CO₂ de materiales cementosos y de base biológica en diferentes etapas del ciclo de vida de EN 15804. Arehart, et al.(2022). Los ejes no están a escala.

Hay muchos ejemplos de edificios construidos con materiales de base biológica, un ejemplo destacado es The Natural Pavilion, de DP6 para la Expo Floriade 2022. Destaca por ser un ejemplo de cómo reducir el impacto medioambiental al mínimo. Es un catálogo de diferentes soluciones constructivas de base biológica, tanto de aislamientos y revestimientos (el 95% de los materiales son de origen biológico). El edificio se construye sobre un armazón de vigas y pilares de madera, también utiliza muros, forjados y escaleras de CLT.



Figura 22. Vista exterior del pabellón. DP6 (2020).



Figura 23. Vista interior del pabellón. DP6 (2020).



Figura 24. Muro con aislamiento de paja. DP6 (2020).



Figura 25. Uniones de vigas y pilares. DP6 (2020).

Otro de los ejemplos destacados es la Torre Mjostarnet, de Exit Architects, en Noruega. Ya que se trata del edificio más alto construido en madera. Es un ejemplo de que la madera no solo se limita a pequeños proyectos, sino que también puede ser utilizada en edificios en altura. Tiene 18 niveles y es de uso mixto (apartamentos, oficinas, hotel y usos colectivos). Está construido mediante vigas y pilares de madera, muros de CLT para la caja de escaleras y ascensor, y forjados de CLT en las 10 primeras plantas.

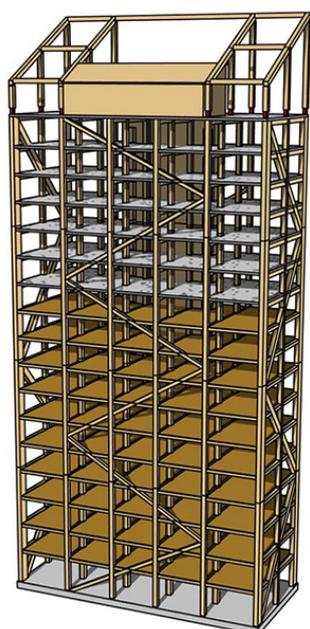


Figura 26. Sistema estructural y construcción. Exit architects.



Figura 27. Proceso constructivo. Thorns (2018).

3.2 Estructura

3.2.1 Opción 1: Vigas y Pilares de Madera

Para el análisis se ha utilizado los datos obtenidos por el estudio realizado por el “Grupo Operativo Madera Construcción Sostenible” dependiente del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación junto con otros ministerios y asociaciones, de las que hay que destacar PEFC ESPAÑA, encargada del desarrollo sostenible de los bosques.

Se va a tener en cuenta dos tipos diferentes de madera y procesos: madera laminada encolada de castaño y madera aserrada de pino; ambas producidas con el fin de ser materiales estructurales.



Figura 28. Vigas de madera laminada. Maderas hermanos Guillén.



Figura 29. Vigas y pilares de madera aserrada de pino. DP6 (2020).

MADERA LAMINADA ENCOLADA DE CASTAÑO:

Datos obtenidos de la Declaración Ambiental de Producto realizada por Global EPD.

Obtención del material:

A1: EXTRACCIÓN Y PROCESAMIENTO DE LAS MATERIAS PRIMAS

1. Los árboles seleccionados son cortados con motosierra.
2. Posteriormente son retirados con vehículos especiales como tractores con cadenas y con el skidder.
3. En el propio monte los troncos de los árboles son limpiados de las ramas y cortados tanto longitudinalmente como transversalmente.
4. La madera se deja secar en el monte y se corta con las dimensiones requeridas por el fabricante.

A2: TRANSPORTE DE LAS MATERIAS PRIMAS A LA FÁBRICA

5. Se transporta el producto mediante camiones grúa al aserradero, donde se elaborará el producto final. (en el estudio considerado, se toma como distancia media entre el monte y la fábrica de 50km).

A3: FABRICACIÓN

6. Las tablas de madera son clasificadas estructuralmente para posteriormente optimizar sus dimensiones.
7. Posteriormente las tablas se ensamblan longitudinalmente mediante el método “finger joint” y luego son encoladas.
8. Las tablas se limpian y se encolan y se prensan entre si para formar los pilares y las vigas.
9. Finalmente se les da la dimensión final y se les aplica un tratamiento superficial protector.

Propiedades:

Clase Resistente (UNE-EN 1912)	GL30h
Clase de Uso (UNE-EN 335)	1: uso interior, no expuesto a la intemperie

- Análisis del Ciclo de Vida e Impacto Medioambiental:

Análisis realizado para 1m³ según las condiciones previstas en el Cap.1.4., metodología de análisis.

Para la etapa de producción (A1-A3):

Parámetro	Unidad	A1 Extracto y proceso de Materias Primas	A2 Transporte	A3 Fabricación	A1-A3 Producto
Potencial de Calentamiento Global (GWP)	kg CO ₂	-1.862,77	16,4	23,5	-1.822,87
Potencial de Agotamiento del Ozono Estratosférico (ODP)	kg CFC	6,45·10 ⁻⁴	6,96·10 ⁻⁴	0	1,34·10 ⁻³
Potencial de Acidificación de la Tierra y el Agua (AP)	kg SO ₂	1,11·10 ⁻¹	1,19·10 ⁻¹	0	2,3·10 ⁻¹

Tabla 29. Tabla impactos ambientales de 1m³ de madera de castaño. Fuente EPD de Global EPD

Potencial de Almacenamiento de Carbono	1.822,87 kg CO ₂
---	-----------------------------

Uso de Energía para la etapa de producción (A1-A3):

Parámetro	Unidad	A1 Extracto y proceso de Materias Primas	A2 Transporte	A3 Fabricación	A1-A3 Producto
Energía Primaria Renovable (PERT)	MJ	1,03·10 ⁴	0	8,14·10 ²	1,11·10 ⁴
Energía Primaria No Renovable (PENRT)	MJ	1,53·10 ²	1,65·10 ²	1,76·10 ²	4,94·10 ²
Combustibles Secundarios Renovables (RSF)	MJ	0	0	7,57·10 ¹	7,57·10 ¹
Combustibles Secundarios No Renovables (NRSF)	MJ	0	0	0	0

Tabla 30. Tabla uso de recursos de 1m³ de madera de castaño. Fuente EPD de Global EPD

MADERA ASERRADA DE PINO SILVESTRE:

Datos obtenidos de la Declaración Ambiental de Producto realizada por Global EPD.

Obtención del material:

A1: EXTRACCIÓN Y PROCESAMIENTO DE LAS MATERIAS PRIMAS

1. Los árboles seleccionados son cortados con motosierra.
2. Posteriormente los troncos de los árboles son limpiados de las ramas.
3. La madera se apila con una mini retroexcavadora en un lugar habilitado para ello, esperando a ser transportada al aserradero.

A diferencia de la madera encolada, los troncos no se cortan, ya que la dimensión de las futuras vigas y pilares depende de la dimensión del tronco del árbol y no se va a fabricar uniendo diferentes partes de madera.

A2: TRANSPORTE DE LAS MATERIAS PRIMAS A LA FÁBRICA

4. Se transporta el producto mediante camiones grúa al aserradero, donde se elaborará el producto final. (en el estudio considerado, se toma como distancia media entre el monte y la fábrica de 50km).

A3: FABRICACIÓN

5. Las tablas de madera son clasificadas y cortadas.
6. Posteriormente se retira la corteza de los troncos y se realiza el aserrado principal. Luego pasa por una serie de tratamientos como el canteado o el baño antiazulado.
7. Finalmente se disponen las tablas para su secado y, una vez tengan el contenido en humedad óptimo, se les da la dimensión final y se les aplica un tratamiento superficial protector.

Propiedades:

Clase Resistente (UNE-EN 1912)	C22
Clase de Uso (UNE-EN 335)	1: uso interior, no expuesto a la intemperie

- Análisis del Ciclo de Vida e Impacto Medioambiental:

Análisis realizado para 1m³ según las condiciones previstas en el Cap.1.4., metodología de análisis.

Para la etapa de producción (A1-A3):

Parámetro	Unidad	A1 Extracto y proceso de Materias Primas	A2 Transporte	A3 Fabricación	A1-A3 Producto
Potencial de Calentamiento Global (GWP)	kg CO ₂	-1.638,8	10,1	121	-1.507,5
Potencial de Agotamiento del Ozono Estratosférico (ODP)	kg CFC	1,07·10 ⁻³	4,07·10 ⁻⁴	0	1,47·10 ⁻³
Potencial de Acidificación de la Tierra y el Agua (AP)	kg SO ₂	1,83·10 ⁻¹	1,29·10 ⁻¹	0	3,12·10 ⁻¹

Tabla 31. Tabla impactos ambientales de 1m³ de madera de pino silvestre. Fuente EPD de Global EPD

Potencial de Almacenamiento de Carbono	1.507,5 kg CO ₂
--	----------------------------

Uso de Energía para la etapa de producción (A1-A3):

Parámetro	Unidad	A1 Extracto y proceso de Materias Primas	A2 Transporte	A3 Fabricación	A1-A3 Producto
Energía Primaria Renovable (PERT)	MJ	$1,08 \cdot 10^4$	0	0	$1,08 \cdot 10^4$
Energía Primaria No Renovable (PENRT)	MJ	$2,52 \cdot 10^2$	$1,66 \cdot 10^2$	$6,45 \cdot 10^2$	$1,06 \cdot 10^3$
Combustibles Secundarios Renovables (RSF)	MJ	0	0	$6,83 \cdot 10^1$	$6,83 \cdot 10^1$
Combustibles Secundarios No Renovables (NRSF)	MJ	0	0	0	0

Tabla 32. Tabla uso de recursos de 1m³ de madera de pino silvestre. Fuente EPD de Global EPD

3.2.2 Opción 2: CLT (forjados y muros de carga)

Para el análisis se ha utilizado los datos obtenidos por el estudio realizado por la empresa EGOIN, ubicada en Bizkaia (España), que cuenta con la etiqueta de PEFC, relativa a la procedencia de la madera de bosques sostenibles.



Figura 30. Construcción con madera CLT. Pérez S. , Julen (2019).

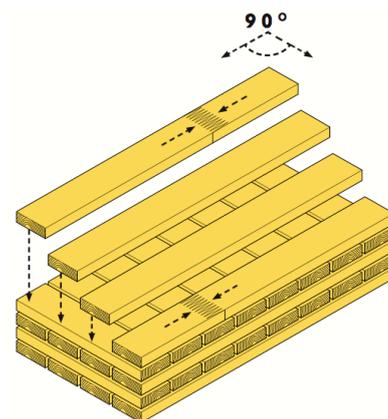


Figura 31. Diagrama CLT. Pérez S. , Julen (2019).

Obtención del material:

A1: EXTRACCIÓN Y PROCESAMIENTO DE LAS MATERIAS PRIMAS

1. Se seleccionan los árboles a cortar, y se sierran mediante motosierra o con otros medios mecánicos similares.
2. Los troncos talados son retirados mediante vehículos especiales como tractores.
3. En el lugar donde se encuentran depositados los troncos, se procede a la limpieza de las ramas, así como a un primer corte longitudinal y transversal.
4. La madera se deja secar en el monte y se corta con las dimensiones requeridas por el fabricante.

A2: TRANSPORTE DE LAS MATERIAS PRIMAS A LA FÁBRICA

5. Se transportan las materias primas a la fábrica donde se va a producir el CLT. Las materias primas principales son la madera resinosa (un 90% de esta de productores locales) y la cola (procedente de Suiza).

A3: FABRICACIÓN

6. Saneado de la madera: los tablones de madera se revisan retirando los nudos y zonas no admisibles, que se recortan mediante medios mecánicos.

7. Unión de los tablones: los tablones se unen mediante el método “finger joint” y luego son encolados, para fijar las uniones se ejercer presión.

8. Cepillado de la madera: los tablones se introducen en una máquina para su cepillado, donde además se marcan canales donde se alojará la cola. El resultado son tablones de anchura y grosor uniforme.

9. Corte y formación del panel CLT: los tablones se cortan en función de la longitud requerida. Posteriormente, son encolados capa por capa, formando capas impares dispuestas de manera perpendicular a la capa anterior.

10. Se sella herméticamente el panel y se mantiene al vacío durante 3 horas.

Propiedades:

Dimensiones máximas (largo x ancho x espesor): 14 x 3,75 x 0,36 m

Propiedades físicas y mecánicas	CLT clase resistente C24
Resist. Flexión ($f_{m,k}$)	24 N/mm ²
Resist. Comp. paralela ($f_{c,0,k}$)	21 N/mm ²
Resist. Comp. perpend. ($f_{c,90,k}$)	2.5N/mm ²
M. Elast. paralelo ($E_{0,medio}$)	11600 N/mm ²
M. Elast. perpend. ($E_{90,medio}$)	370 N/mm ²
Densidad media	520 kg/m ³

Tabla 33. Tabla de propiedades físicas y mecánicas de CLT de clase C24. Fuente ficha técnica Egoín

Propiedades físicas y mecánicas	CLT clase resistente C40
Resist. Flexión ($f_{m,k}$)	40 N/mm ²
Resist. Comp. paralela ($f_{c,0,k}$)	26 N/mm ²
Resist. Comp. perpend. ($f_{c,90,k}$)	2.9 N/mm ²
M. Elast. paralelo ($E_{0,medio}$)	14000 N/mm ²
M. Elast. perpend. ($E_{90,medio}$)	470 N/mm ²
Densidad media	520 kg/m ³

Tabla 34. Tabla de propiedades físicas y mecánicas de CLT de clase C40. Fuente ficha técnica Egoín

- Análisis del Ciclo de Vida e Impacto Medioambiental:

Análisis realizado para 1m³ según las condiciones previstas en el Cap.1.4., metodología de análisis.

Para la etapa de producción (A1-A3):

Parámetro	Unidad	A1 Extracto y proceso de Materias Primas	A2 Transporte	A3 Fabricación	A1-A3 Producto
Potencial de Calentamiento Global (GWP)	kg CO ₂	-716,18	27,45	3,2	-685,53
Potencial de Agotamiento del Ozono Estratosférico (ODP)	kg CFC	9,2·10 ⁻¹	6,6·10 ⁻²	2,1·10 ⁻²	1,01
Potencial de Acidificación de la Tierra y el Agua (AP)	kg SO ₂	2,1·10 ⁻¹	1,4·10 ⁻²	4,7·10 ⁻³	2,29·10 ⁻¹

Tabla 35. Tabla impactos ambientales de 1m³ de CLT. Fuente EPD de EPD International

Potencial de Almacenamiento de Carbono	685,53 kg CO ₂
--	---------------------------

Uso de Energía para la etapa de producción (A1-A3):

Parámetro	Unidad	A1 Extracto y proceso de Materias Primas	A2 Transporte	A3 Fabricación	A1-A3 Producto
Energía Primaria Renovable (PERT)	MJ	$2,67 \cdot 10^4$	5,91	1,35	$2,67 \cdot 10^4$
Energía Primaria No Renovable (PENRT)	MJ	$2,83 \cdot 10^3$	$4,52 \cdot 10^2$	$7,66 \cdot 10^1$	$3,36 \cdot 10^3$
Combustibles Secundarios Renovables (RSF)	MJ	0	0	$7,28 \cdot 10^1$	$7,28 \cdot 10^1$
Combustibles Secundarios No Renovables (NRSF)	MJ	0	0	0	0

Tabla 36. Tabla uso de recursos de 1m³ de CLT. Fuente EPD de EPD International

Como se puede observar en la tabla 36, la energía primaria empleada en la extracción y procesamiento de las materias primas (A1) para fabricar el CLT es muy elevada. Se ha decidido comparar con otra declaración ambiental de otro producto procedente de otros países:

Uso de Energía para la etapa de producción (A1-A3) CLT Stora Enso en Finlandia:

Parámetro	Unidad	A1 Extracto y proceso de Materias Primas	A2 Transporte	A3 Fabricación	A1-A3 Producto
Energía Primaria Renovable (PERT)	MJ	$7,52 \cdot 10^3$	12,3	$1,06 \cdot 10^3$	$8,6 \cdot 10^3$
Energía Primaria No Renovable (PENRT)	MJ	$2,95 \cdot 10^2$	$2,71 \cdot 10^2$	$3,41 \cdot 10^2$	$9,07 \cdot 10^2$
Combustibles Secundarios Renovables (RSF)	MJ	0	0	0	0
Combustibles Secundarios No Renovables (NRSF)	MJ	0	0	0	0

Tabla 37. Tabla uso de recursos de 1m³ de CLT Stora. Fuente EPD de EPD International.

De la tabla 37 se aprecia como la energía empleada en la fase A1 es menor que en el CLT analizado de Egoin, sin embargo, la energía en la fase de fabricación (A3), es bastante superior, esto se debe al propio proceso productivo empleado por cada empresa. Se verifica que el uso de recursos final (A1-A3) es 3 veces mayor en el producto de Egoin, comparándolo con el de Stora Enso.

Si se comparan los datos con los de la fabricación del hormigón (p.17), se ve como el uso de recursos para la producción del CLT es 15 veces superior que para la del hormigón, comparándolo con el producto de Egoin. Y 5 veces superior si lo comparamos con el de Stora Enso. Por lo tanto, la producción de CLT implica mayor consumo de energía, aunque el 88,4% de la empleada procede de fuentes renovables. Sin embargo, el CLT tiene un gran potencial de almacenamiento de CO₂, 685 kg por cada m³, frente al hormigón que emite 223 kg de CO₂.

En el trabajo se ha decidido utilizar la declaración ambiental del CLT de Egoin Bizkaia, porque ofrece la posibilidad de emplear un sistema alveolar como muro y forjado, denominado CLT MIX, donde se combina la madera con el aislante, se estudiará en el capítulo 4.2 del trabajo. También se ha escogido porque se trata de un producto nacional. La decisión de emplear el producto de Egoin provocará que los resultados de energía embebida de la estructura y cerramientos sea elevada, aunque mayormente se tratará de energía procedente de fuentes renovables.

3.3 Aislamientos Térmicos y Acústicos

Para el aislamiento de los cerramientos exteriores y la cubierta, así como de la tabiquería interior del edificio se estudian dos tipos diferentes de materiales, derivados del corcho y de la madera.

3.3.1 Opción 1: Aislamiento de Corcho

Aislamiento de corcho expandido de SOFALCA.LDA. El producto comercial se vende como planchas de 1x0,5m. Datos obtenidos de la Declaración Ambiental de Producto realizada por DAPHabitat System.



Figura 32. Planchas de aislamiento de corcho. Sofalca (2017).



Figura 33. Fachada con revestimiento exterior de planchas de corcho. Sofalca (2017).

- Obtención de las materias primas:

La materia prima principal para la fabricación de este producto es la corteza de corcho del árbol del alcornoque, que se puede extraer cada 9-10 años, sin perjuicio para el árbol. Por lo que el alcornoque no se ve dañado ni desaparece, sino que tiene potencialidad para producir más corteza que pueda servir de aislamiento.

Sin embargo, para que se forme esa corteza útil, tiene que pasar 30 años desde su plantación, por lo que el período hasta que podemos obtener producto útil para la construcción es largo. El proceso de producción del aislamiento es el siguiente:

A1: EXTRACCIÓN Y PROCESAMIENTO DE LAS MATERIAS PRIMAS

1. Poda del alcornoque con motosierra, para la posterior extracción del corcho mediante maquinaria especializada.

A2: TRANSPORTE DE LAS MATERIAS PRIMAS A LA FÁBRICA

2. Transporte de la corteza de corcho a la fábrica, en tractor cuando se trata de pequeños productores locales (10km) o en camión cuando son productores a mayor escala (30km).

A3: FABRICACIÓN

3. Trituración del corcho produciendo:

- Corcho granulado
- Biomasa utilizada para procesos posteriores de producción
- Tierra y arena que se deposita en el terreno próximo

4. Tratamiento en autoclave con vapor de agua, para unir el corcho granulado en un horno alimentado con biomasa.

5. Corte y Rectificación

- Propiedades:

Formato del aislamiento:

- Paneles de 10-300 mm: 1000 x 500 mm (largo x ancho).

Conductividad Térmica	0,04 W/mK
Resistencia a la difusión del vapor (μ)	10,7
Densidad	100-130 kg/m ³
Esfuerzo de compresión al 10% relativo deformación	110 kN/m ²
Clase de Resistencia al Fuego (EN 13501-1)	E

Tabla 38. Propiedades paneles de corcho. Fuente EPD de DAPHabitat System.

- Análisis del Ciclo de Vida e Impacto Medioambiental:

Análisis realizado para 1m³ según las condiciones previstas en el Cap.1.4., metodología de análisis.

Para la etapa de producción (A1-A3):

Parámetro	Unidad	A1 Extracto y proceso de Materias Primas	A2 Transporte	A3 Fabricación	A1-A3 Producto
Potencial de Calentamiento Global (GWP)	kg CO ₂	-505	1,39	198	-305,6
Potencial de Agotamiento del Ozono Estratosférico (ODP)	kg CFC	1,4·10 ⁻⁶	2,04·10 ⁻⁷	1,85·10 ⁻⁶	4,73·10 ⁻⁶
Potencial de Acidificación de la Tierra y el Agua (AP)	kg SO ₂	1,9·10 ⁻¹	6,8·10 ⁻³	2,6·10 ⁻¹	4,6·10 ⁻¹

Tabla 39. Tabla impactos ambientales de 1m³ de aislamiento de corcho. Fuente EPD de DAPHabitat System.

Potencial de Almacenamiento de Carbono	305,6 kg CO ₂
---	--------------------------

Uso de Energía para la etapa de producción (A1-A3):

Parámetro	Unidad	A1 Extracto y proceso de Materias Primas	A2 Transporte	A3 Fabricación	A1-A3 Producto
Energía Primaria Renovable (PERT)	MJ	5,08·10 ²	2,9·10 ⁻²	2,09·10 ²	7,14·10 ²
Energía Primaria No Renovable (PENRT)	MJ	3,17·10 ²	1,69·10 ²	4,26·10 ²	7,6·10 ²
Combustibles Secundarios Renovables (RSF)	MJ	-	-	-	-
Combustibles Secundarios No Renovables (NRSF)	MJ	-	-	-	-

Tabla 40. Tabla uso de recursos de 1m³ de aislamiento de corcho. Fuente EPD de DAPHabitat System.

3.3.2 Opción 2: Aislamiento de Fibra de Madera

Se va a analizar también el aislamiento a base de fibra de madera de la empresa STEICO.SE, Alemania. Este tipo de aislamiento puede ser utilizado tanto en cubiertas, muros o forjados. Los datos recogidos se han obtenido a partir de la Declaración Ambiental de Producto realizada por el Institut Bauen und Umwelt e.V. (IBU).



Figura 34. Aislante interior en fibra de madera. Steico Internal.



Figura 35. Aislante en fibra de madera. Miranda, Juanma (2018).

- Obtención de las materias primas:

A1: EXTRACCIÓN Y PROCESAMIENTO DE LAS MATERIAS PRIMAS

La materia prima (madera) empleada para la fabricación del aislamiento procede de tres orígenes diferentes:

- 1a. La madera procede de restos de la silvicultura (cultivo de los bosques). Estos restos son cortados con motosierra para adecuarlos a las dimensiones requeridas para el transporte.
- 1b. También puede proceder de restos de la industria maderera.
- 1c. O puede proceder del corte directo de árboles con motosierra, habitualmente coníferas.

A2: TRANSPORTE DE LAS MATERIAS PRIMAS A LA FÁBRICA

2. La materia es transportada en función del origen.

A3: FABRICACIÓN

3. La materia prima es clasificada y triturada para obtener tamaños similares con los que elaborar el producto.
4. La madera triturada es se calienta bajo vapor a presión y, posteriormente, es sometida a procesos de desfibrado para obtener como resultado la fibra de madera (finos hilos), realizado mediante medios termomecánicos.
5. Tratamiento de la fibra de madera con productos químicos con el objetivo de mejorar sus propiedades frente al fuego y frente al ataque de insectos y hongos.
6. La fibra de madera tratada es prensada junto con adhesivos para obtener las planchas de aislamiento de grandes dimensiones.
7. Finalmente, las planchas son recortadas, embaladas y apiladas en función de las dimensiones requeridas.

- Propiedades:

Formato del aislamiento:

- Paneles de 10-200 mm: 1350 x 600 mm (largo x ancho).
- Paneles de 100-160 mm: 1880 x 600 mm (largo x ancho).

Conductividad Térmica	0,038 W/mK
Resistencia a la difusión del vapor (μ)	5
Densidad	50-265 kg/m ³
Esfuerzo de compresión al 10% relativo deformación	50 kN/m ²
Clase de Resistencia al Fuego (EN 13501-1)	E

Tabla 41. Propiedades paneles de fibra de madera. Fuente EPD de IBU.

- Análisis del Ciclo de Vida e Impacto Medioambiental:

Análisis realizado para 1m³ según las condiciones previstas en el Cap.1.4., metodología de análisis.

Para la etapa de producción (A1-A3):

Parámetro	Unidad	A1 Extracto y proceso de Materias Primas	A2 Transporte	A3 Fabricación	A1-A3 Producto
Potencial de Calentamiento Global (GWP)	kg CO ₂	-221	0,036	47,5	-173,46
Potencial de Agotamiento del Ozono Estratosférico (ODP)	kg CFC	6·10 ⁻⁷	7,33·10 ⁻¹⁰	1,85·10 ⁻⁷	7,86·10 ⁻⁷
Potencial de Acidificación de la Tierra y el Agua (AP)	kg SO ₂	5,20·10 ⁻²	1,58·10 ⁻³	2,52·10 ⁻¹	3,05·10 ⁻¹

Tabla 42. Tabla impactos ambientales de 1m³ de aislamiento de fibra de madera. Fuente EPD de IBU.

Potencial de Almacenamiento de Carbono	173,46 kg CO ₂
---	---------------------------

Uso de Energía para la etapa de producción (A1-A3):

Parámetro	Unidad	A1 Extracto y proceso de Materias Primas	A2 Transporte	A3 Fabricación	A1-A3 Producto
Energía Primaria Renovable (PERT)	MJ	2,52·10 ³	6,86·10 ⁻³	1,19·10 ³	2,53·10 ³
Energía Primaria No Renovable (PENRT)	MJ	2,99·10 ²	5,2	1,52·10 ³	1,82·10 ³
Combustibles Secundarios Renovables (RSF)	MJ	-	0	0	0
Combustibles Secundarios No Renovables (NRSF)	MJ	-	0	0	0

Tabla 43. Tabla uso de recursos de 1m³ de aislamiento de fibra de madera. Fuente EPD de IBU.

4. REMATERIALIZACIÓN:

Después del estudio de las propiedades e impactos ambientales de diferentes de materiales de base biológica realizado en el capítulo 3, se van modificar las características constructivas del edificio estudiado en el capítulo 1, y se van a diseñar nuevos detalles constructivos. La nueva propuesta busca mantener propiedades similares a las originales pero con un impacto medioambiental negativo.

4.1 Cimentación:

La cimentación del edificio se decide realizarla mediante hormigón armado, adaptándose a la nueva estructura del edificio. Está compuesta por un muro de sótano (perimetral) que recibe las solicitaciones de los muros de carga de CLT, que soportan la estructura principal del edificio. También está formada por zapatas aisladas y una pequeña losa de cimentación, que transmiten las cargas de los pilares y muros que sostienen el forjado de la planta baja.

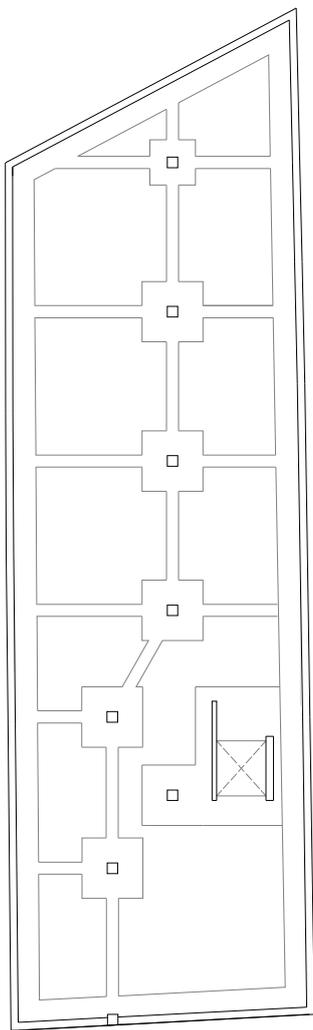


Figura 36. Planta de cimentación.
Elaboración propia.
ESC. 1/250

Zona	Tipo de Hormigón	V. de Hormigón
Solera de Asiento	HL-150/B/40	17,11 m ³
Zapata corrida	HA-25/B/40/XC1	38,24 m ³
Zapatas y vigas riostras	HA-25/B/40/XC1	28,13 m ³
Muro de Sótano	HA-25/B/40/XC1	59,25 m ³
Solera	HA-25/B/40/XC1	61 m ³

Tabla 44. Tabla volúmenes de hormigón utilizados en la cimentación.
Elaboración propia.

Carbón Total Embebido en la Producción del Hormigón para la Cimentación	45.431,79 kg CO₂
--	------------------------------------

Energía Total Embebida en la Producción del Hormigón para la Cimentación	387.178,68 MJ de la cual un 97,4% es no renovable
---	---

4.2 Estructura:

Para la estructura del edificio se analizan diversas alternativas, como un sistema de vigas y pilares con forjados de CLT o una estructura de muros de carga y forjados de este material. Finalmente, la estructura vertical y horizontal del edificio, realizadas originalmente en hormigón, se van a realizar con paneles de CLT MIX. Para determinar los espesores de CLT, se ha empleado un prontuario de predimensionado de la empresa EGOIN. Los forjados de planta baja y la solera se mantendrán con el mismo hormigón original. En las figuras 39-46 se detalla el nuevo diseño estructural de las diferentes plantas del edificio.

El CLT MIX, está compuesto por paneles de madera alveolares, donde las plachas centrales se sustituyen por una estructura de largueros de madera, dejando espacio en el interior para rellenar con aislamiento térmico. El material escogido para el aislamiento, tras los análisis, es el de corcho natural expandido, ya que mantiene las propiedades originales de conductividad térmica (0,04 W/mK) y, de los dos analizados, es el que tiene mayor capacidad de almacenamiento de CO₂ (305,6 kg por cada m³ de material empleado).

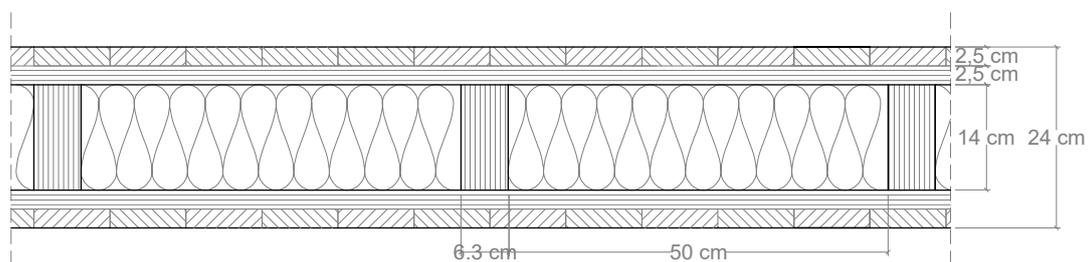


Figura 37. Sección CLT MIX. Elaboración propia.
ESC. 1/10

	Capas	Composición (cm)	Espesor	Volumen de madera (m ³)	Volumen de aislamiento (m ³)
CLT MIX	5	2,5 + 2,5 + 14 + 2,5 + 2,5	24 cm	0,532 por cada m ³	0,468 por cada m ³

Esquema estructural de la solución adoptada:

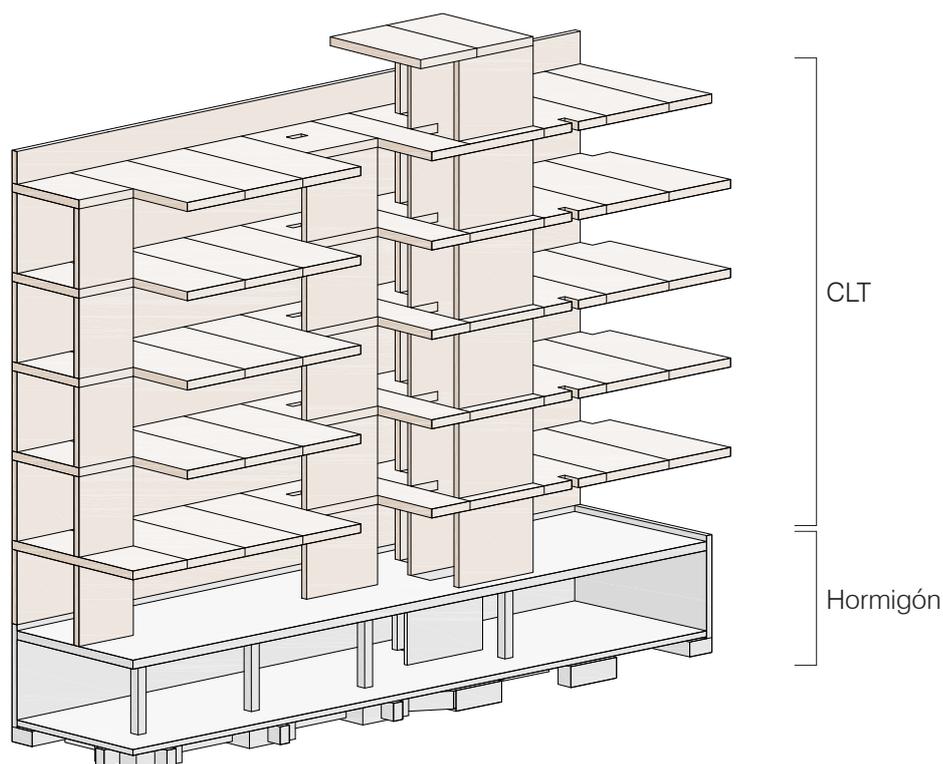


Figura 38. Esquema estructural. Elaboración propia.

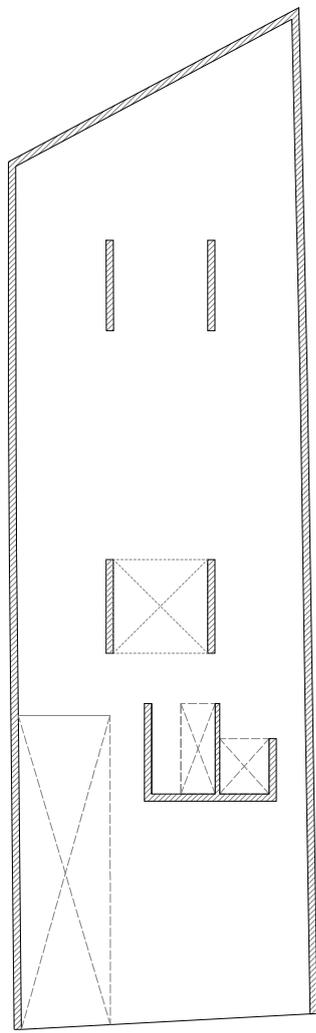


Figura 39.
Planta Baja.
Elaboración propia.

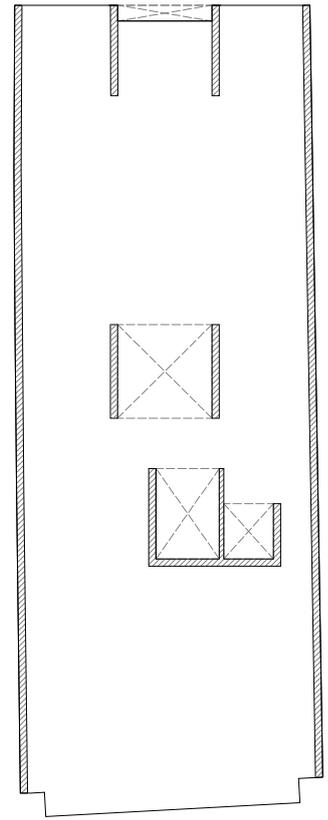


Figura 41.
Planta 1.
Elaboración propia.

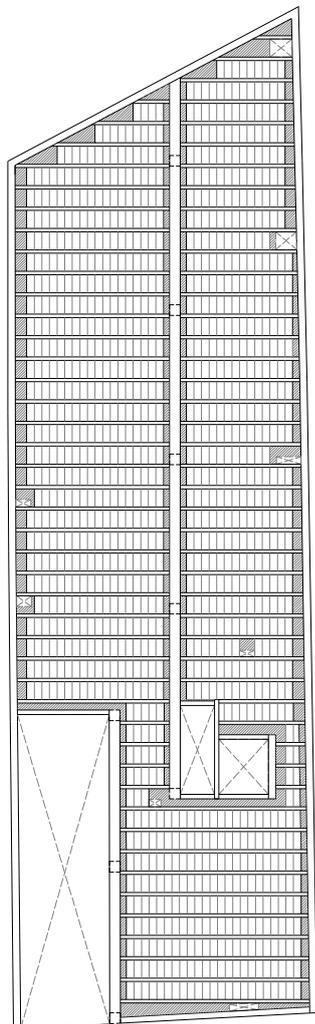


Figura 40.
Forjado Planta Baja.
Elaboración propia.

ESC. 1/250

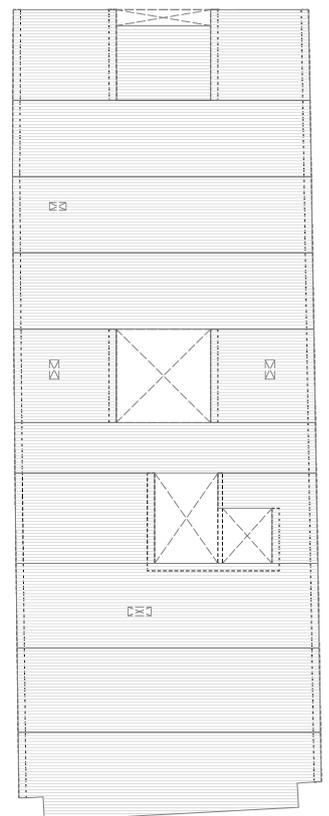


Figura 42.
Forjado Planta 1.
Elaboración propia.

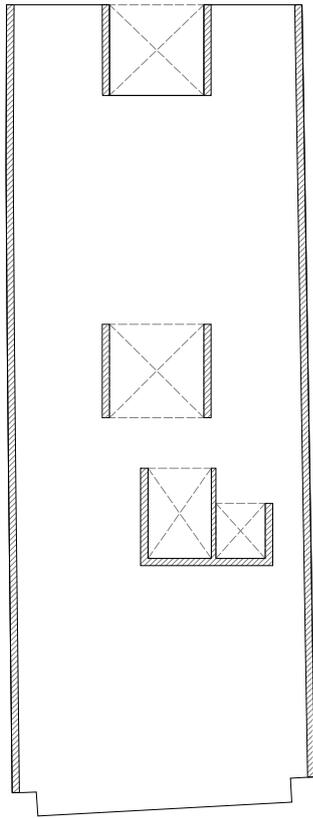


Figura 43.
Plantas 2,3 y 4.
Elaboración propia.

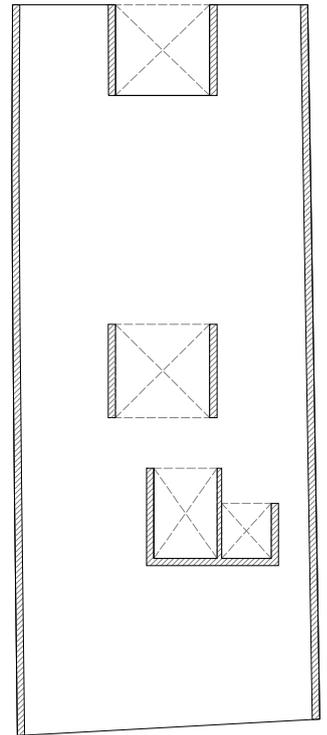


Figura 45.
Planta 5.
Elaboración propia.

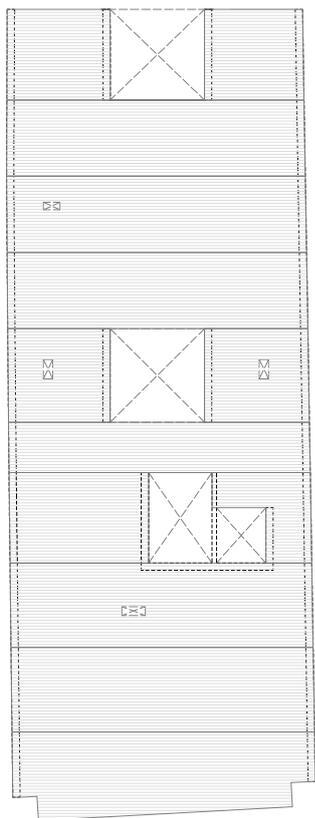


Figura 44.
Forjado Plantas 2,3 y 4.
Elaboración propia.
ESC. 1/250

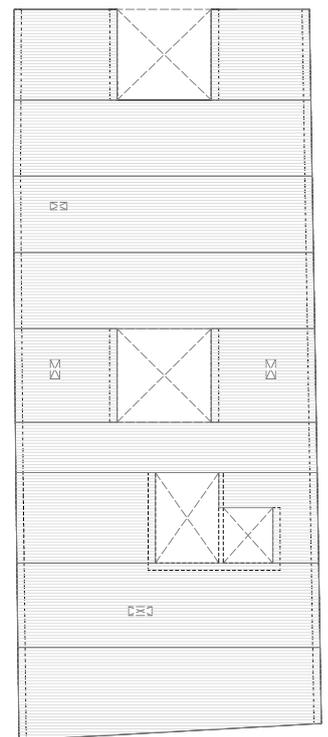


Figura 46.
Forjado Planta 5.
Elaboración propia.

Planteada la nueva solución estructural con materiales de base biológica, se procede a hacer mediciones de los materiales empleados para evaluar su impacto ambiental durante la fase de producción.

En planta baja se utiliza un forjado unidireccional de viguetas pretensadas simple T, con bovedillas prefabricadas de hormigón.

Por simplificar los cálculos, se supone el mismo hormigón para todos los elementos (vigas, viguetas, bovedillas, capa de compresión). El forjado trasmite las cargas sobre los muros de sótano (ya contabilizados en el capítulo de cimentación) y pilares y muros de carga puntuales.

ESTRUCTURA HORIZONTAL:

El volumen de hormigón utilizado es el siguiente:

Zona	Volumen de Hormigón
Forjado Planta Baja	44,71 m ³

Tabla 45. Tabla volúmenes de hormigón utilizados en la estructura horizontal. Elaboración propia.

Para el análisis medioambiental del hormigón, se utiliza como base el ACV, realizado por la empresa AENOR para ANEFHOP. Los mismos datos de referencia que han sido utilizados en el capítulo 2.

Carbón Total Embebido en la Producción del Hormigón para la Estructura Horizontal	9.970 kg CO₂
--	--------------------------------

Energía Total Embebida en la Producción del Hormigón para la Estructura Horizontal	84.967,22 MJ de la cual un 97,4% es no renovable
---	--

ESTRUCTURA VERTICAL:

El volumen de hormigón utilizado es el siguiente:

Zona	Volumen de Hormigón
Pilares	2,8 m ³
Muros de carga (ascensor)	3,01 m ³

Tabla 46. Tabla volúmenes de hormigón utilizados en la estructura vertical. Elaboración propia.

Carbón Total Embebido en la Producción del Hormigón para la Estructura Vertical	1.295,63 kg CO₂
--	-----------------------------------

Energía Total Embebida en la Producción del Hormigón para la Estructura Vertical	11.041,61 MJ de la cual un 97,4% es no renovable
---	--

Sin embargo, la mayor parte de la estructura se materializa con muros de carga y forjados de CLT MIX. Los muros de madera se apoyan sobre los muros de sótano de hormigón, que transmiten las cargas a la cimentación.

ESTRUCTURA HORIZONTAL:

El volumen de CLT MIX utilizado es el siguiente:

Zona	Volumen de CLT
Forjado Planta 1	72,3 m ³
Forjado Planta 2	70 m ³
Forjado Planta 3	70 m ³
Forjado Planta 4	70 m ³
Forjado Planta Cubierta	68 m ³
Forjado Casetón Escalera	6,45 m ³
TOTAL	356,75 m³

Tabla 47. Tabla volúmenes de CLT utilizados en la estructura horizontal. Elaboración propia.

Como se ha mostrado al principio del capítulo 4.2, en cada m³ de CLT MIX un 53,2% corresponde a madera y un 46,8% a aislamiento. Por lo que del total de volumen de CLT, corresponde a madera y a aislamiento de corcho natural:

Volumen de Madera	Volumen de Aislamiento
189,79 m ³	166,96 m ³

Tabla 48. Tabla volúmenes de madera y aislamiento utilizados en la estructura horizontal. Elaboración propia.

Los datos han sido calculados tomando como referencia los valores del estudio realizado por la empresa EGOIN, ubicada en Bizkaia (España), para el CLT que producen. (cap. 3.2.2)

Potencial de Almacenamiento de Carbono en la Producción de la Madera para la Estructura Horizontal	130.106,74 kg CO ₂
--	-------------------------------

Energía Total Embebida en la Producción de la Madera para la Estructura Horizontal	5.718.904,11 MJ de la cual un 11,6% es no renovable
--	--

Para el análisis se han empleados los datos recogidos en el capítulo 3.3.1, tomando como referencia la DAP del corcho expandido de SOFALCA.LDA, realizada por DAPHabitat System.

Potencial de Almacenamiento de Carbono en la Producción del Aislamiento para la Estructura Horizontal	51.022,98 kg CO ₂
---	------------------------------

Energía Total Embebida en la Producción del Aislamiento para la Estructura Horizontal	246.099 MJ de la cual un 51,6 % es no renovable
---	--

ESTRUCTURA VERTICAL:

El volumen de CLT MIX utilizado es el siguiente:

Zona	Volumen de CLT
Muros Carga Laterales	185,64 m ³
Muros Caja de Escaleras y Ascensor	47,09 m ³
Muros Carga Interiores	41,36 m ³
TOTAL	274,09 m³

Tabla 49. Tabla volúmenes de CLT utilizados en la estructura vertical. Elaboración propia.

Del cual, corresponde a madera y a aislamiento de corcho natural:

Volumen de Madera	Volumen de Aislamiento
145,82 m ³	128,27 m ³

Tabla 50. Tabla volúmenes de madera y aislamiento utilizados en la estructura vertical. Elaboración propia.

Potencial de Almacenamiento de Carbono en la Producción de la Madera para la Estructura Vertical	99.963,98 kg CO ₂
--	------------------------------

Energía Total Embebida en la Producción de la Madera para la Estructura Vertical	4.393.964,9 MJ de la cual un 11,6% es no renovable
--	---

Potencial de Almacenamiento de Carbono en la Producción del Aislamiento para la Estructura Vertical	39.199,31 kg CO ₂
---	------------------------------

Energía Total Embebida en la Producción del Aislamiento para la Estructura Vertical	189.070 MJ de la cual un 51,6 % es no renovable
---	--

CÁLCULOS TOTALES DE LA ESTRUCTURA: (fase de producción de los materiales)

Carbón total embebido hormigón	+11.265,63 kg CO ₂
Carbón total embebido madera	-230.070,72 kg CO ₂
Carbón total embebido aislamiento	-90.222,29 kg CO ₂
Carbón Total Embebido en la Producción de los Materiales para la Estructura. POTENCIAL DE ALMACENAMIENTO	-309,027 Toneladas CO₂

Energía total embebida hormigón	96.008,83 MJ
Energía total embebida madera	10.112.869 MJ
Energía total embebida aislamiento	435.169 MJ
Energía Total Embebida en la Producción de los Materiales para la Estructura	10.646.046,83 MJ de la cual un 13,9 % es no renovable

Tabla 51. Tabla resumen impacto total de los materiales de la estructura. Elaboración propia.

4.3 Cerramientos exteriores:

En el capítulo 2.2.2 se especifica la ubicación y distribución de los diferentes tipos de cerramientos. En la nueva solución para el edificio, el cerramiento T3 Muro Medianero, se encuentra incluido dentro del apartado estructural, ya que funciona como muro portante. También hay parte del cerramiento exterior T1, que se encuentra contabilizado dentro de la estructura como muro portante. La solución adoptada para el nuevo cerramiento es la siguiente:

T1 FACHADA EXTERIOR, ORIGINAL Y NUEVA PROPUESTA:

F. EXTERIOR ORIGINAL	668,62 m ²
Capas:	Espesor:
Mortero de Cal	1,5 cm
Ladrillo Triple Hueco SateBrick	11 cm
Enfoscado Hidrófugo	1 cm
Lana de Roca	6 cm
Trasdosado Placa de Cartón Yeso	1,5 cm

Tabla 8. Tabla capas fachada exterior original. Elaboración propia.

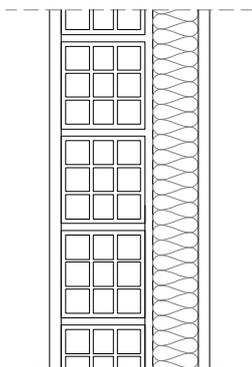


Figura 47. Sección fachada original. Elaboración propia. ESC. 1/10

F. EXTERIOR BASE BIOLÓGICA	496,28 m ²
Capas:	Espesor:
Mortero de Cal	1,5 cm
Aislamiento de Corcho Natural expandido	10 cm
CLT 100	10 cm
Trasdosado Placa de Cartón Yeso	1,5 cm

Tabla 52. Tabla capas fachada exterior b. biológica. Elaboración propia.

La solución constructiva que ofrece SOFALCA (fabricante del aislante de corcho) no incluye la lámina impermeable. Opcionalmente se puede colocar para mejorar la solución.

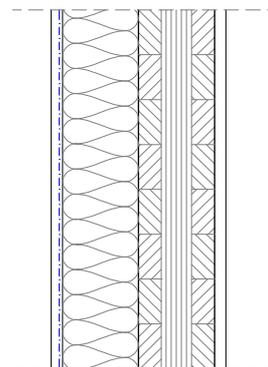


Figura 48. Sección fachada b. biológica. Elaboración propia. ESC. 1/10

T2 FACHADA EXTERIOR PLANTA BAJA ORIGINAL Y NUEVA PROPUESTA:

F. EXTERIOR PB ORIGINAL	74,03 m ²
Capas:	Espesor:
Aplacado Cerámico	2 cm
Maestreado de Mortero de Cemento	1,5 cm
Ladrillo Triple Hueco SateBrick	11 cm
Enfoscado Hidrófugo	1 cm
Lana de Roca	6 cm
Trasdosado Placa de Cartón Yeso	1,5 cm

Tabla 9. Tabla capas fachada exterior planta baja. Elaboración propia.

F. EXTERIOR PB BASE BIOLÓGICA	74,03 m ²
Capas:	Espesor:
Aplacado Cerámico	2 cm
Maestreado de Mortero de Cemento	1,5 cm
Aislamiento de Corcho Natural expandido	10 cm
CLT 100	10 cm
Trasdosado Placa de Cartón Yeso	1,5 cm

Tabla 53. Tabla capas fachada exterior PB b. biológica. Elaboración propia.

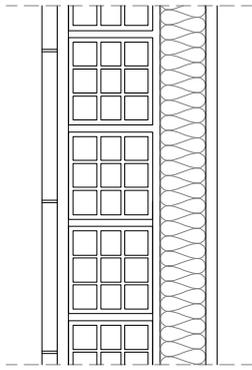


Figura 49. Sección fachada planta baja original. Elaboración propia.

ESC. 1/10

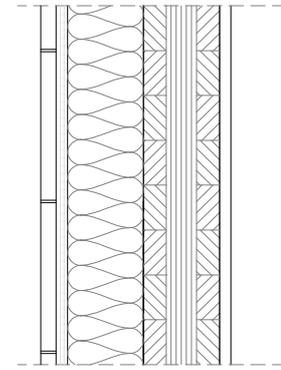


Figura 50. Sección fachada planta baja b.biológica. Elaboración propia.

ESC. 1/10

La capa de mortero de cemento está formada por:
Mortero + FV + Mortero + FV + Mortero
Como indica la solución propuesta por la empresa.

Se ha tenido en cuenta mantener condiciones similares de aislamiento térmico. Respecto a la transmitancia térmica, la original es de $0,33 \frac{W}{m^2K}$ y la del cerramiento propuesto es de $0,32 \frac{W}{m^2K}$.

Resumen de Materiales en Fachadas Exteriores	m ²
Aplacado de Gres	74,03
Mortero de Cal	570,31
Maestreado de Mortero de Cemento	74,03
CLT 100	570,31
Aislamiento de Corcho Natural expandido	570,31
Trasdosado Placa de Cartón Yeso	570,31

Tabla 54. Tabla resumen de las superficies de materiales de las fachadas. Elaboración propia.

Conocidas las superficies de cada material, se calcula el impacto ambiental de la nueva solución constructiva, en base a las declaraciones ambientales de cada producto.

		A1-A3 TOTAL					
Parámetro	Unidad	Aplacado de Gres	Mortero de Cal	Mortero de Cemento	CLT 100	A.Corcho Natural	Cartón Yeso
Carbón total embebido	kg CO ₂	791,8	2.036	51,82	-39.077	-17.428,7	2.549,3
Energía total embebida	MJ	12.555,5	27.645	650	1.718.504	84.063,7	23.142

Tabla 55. Tabla resumen impacto total de los materiales de las fachadas. Elaboración propia.

4.4 Particiones interiores:

Los tabiques originales están realizados mediante entramados metálicos autoportantes de placas de cartón yeso y lana de roca. La nueva solución mantiene la composición y capas originales, pero sustituye el aislante de lana de roca por el de corcho natural, así como el entramado, que pasará a ser de madera. Los muros de la escalera y de ascensor ya han sido contabilizados en el apartado estructural. Los tabiques de los trasteros se mantienen igual que en la solución original. Las soluciones adoptadas son las siguientes:

T.DIVISORIO VIVIENDAS ORIGINAL	156,28 m ²
Capas:	Espesor:
Doble Placa de Cartón Yeso	3 cm
Aislamiento de Lana de Roca	6 cm
Chapa de acero	0,5 cm
Placa de Cartón Yeso	1,5 cm
Aislamiento de Lana de Roca	6 cm
Doble Placa de Cartón Yeso	3 cm

Tabla 14. Tabla capas tabiques separación de viviendas original. Elaboración propia.

TABIQUE DIVISORIO VIVIENDAS	156,28 m ²
Capas:	Espesor:
Doble Placa de Cartón Yeso	3 cm
Aislamiento de Corcho Natural	6 cm
Chapa de acero	0,5 cm
Placa de Cartón Yeso	1,5 cm
Aislamiento de Corcho Natural expandido	6 cm
Doble Placa de Cartón Yeso	3 cm

Tabla 56. Tabla capas tabiques separación de viviendas base biológica. Elaboración propia.

T. SEP. EE.CC ORIGINAL	294,68 m ²
Capas:	Espesor:
Enlucido de Yeso	1,5 cm
Ladrillo Panal	11,5 cm
Enfoscado de Mortero	1,5 cm
Lana de Roca	8 cm
Doble Placa de Cartón Yeso	3 cm

Tabla 15. Tabla capas tabiques caja de escaleras y separación con elementos comunes original. Elaboración propia.

T. SEP. EE.CC	173,73 m ²
Capas:	Espesor:
Doble Placa de Cartón Yeso	3 cm
Aislamiento de Corcho Natural	6 cm
Placa de Cartón Yeso	1,5 cm
Aislamiento de Corcho Natural expandido	8 cm
Doble Placa de Cartón Yeso	3 cm

Tabla 57. Tabla capas tabiques separación con elementos comunes base biológica. Elaboración propia.

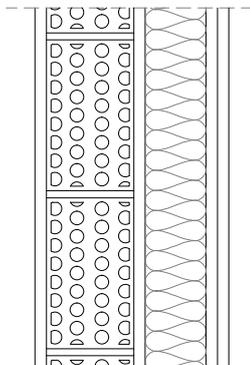


Figura 51. Sección tabique separación con elementos comunes original. Elaboración propia.

ESC. 1/10

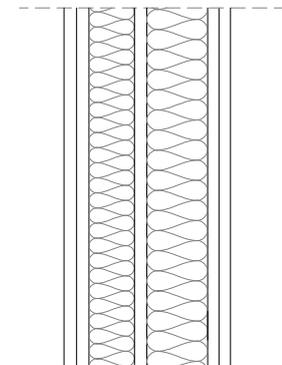


Figura 52. Sección tabique separación con elementos comunes base biológica. Elaboración propia.

ESC. 1/10

T.DISTRIBUCIÓN ORIGINAL	460,6 m ²
Capas:	Espesor:
Trasdosado Placa de Cartón Yeso	1,5 cm
Aislamiento de Lana de Roca	6 cm
Trasdosado Placa de Cartón Yeso	1,5 cm

Tabla 16. Tabla capas tabiques de distribución interior original. Elaboración propia.

TABIQUE DISTRIBUCIÓN	460,6 m ²
Capas:	Espesor:
Trasdosado Placa de Cartón Yeso	1,5 cm
Aislamiento de Corcho Natural expandido	6 cm
Trasdosado Placa de Cartón Yeso	1,5 cm

Tabla 58. Tabla capas tabiques de distribución interior base biológica. Elaboración propia.

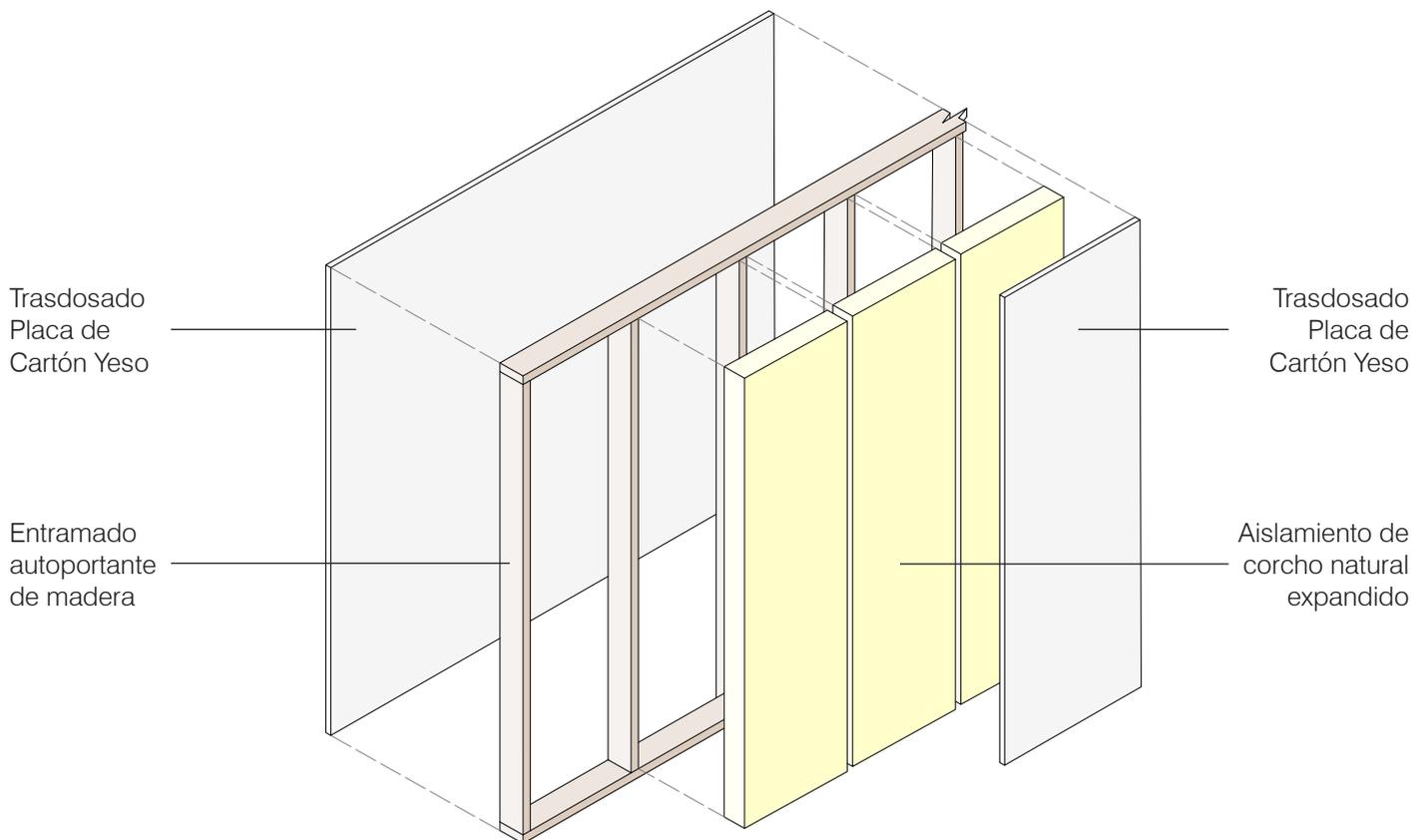


Figura 53. Axonometría de la tabiquería interior de base biológica. Elaboración propia.
ESC. 1/20

T. ALICAT. A UNA CARA ORIGINAL	213 m ²
Capas:	Espesor:
Trasdosado Placa de Cartón Yeso	1,5 cm
Aislamiento de Lana de Roca	6 cm
Trasdosado Placa de Cartón Yeso	1,5 cm
Maestreado de Mortero de Cemento	1,5 cm
Alicatado Cerámico	2 cm

Tabla 17. Tabla capas tabiques alicatados a una cara original. Elaboración propia.

T. ALICATADO A UNA CARA	213 m ²
Capas:	Espesor:
Trasdosado Placa de Cartón Yeso	1,5 cm
Aislamiento de Corcho Natural expandido	6 cm
Trasdosado Placa de Cartón Yeso	1,5 cm
Maestreado de Mortero de Cemento	1,5 cm
Alicatado Cerámico	2 cm

Tabla 59. Tabla capas tabiques alicatados a una cara base biológica. Elaboración propia.

T. ALICAT. A 2 CARAS ORIGINAL	43,2 m ²
Capas:	Espesor:
Alicatado Cerámico	2 cm
Maestreado de Mortero de Cemento	1,5 cm
Trasdosado Placa de Cartón Yeso	1,5 cm
Aislamiento de Lana de Roca	6 cm
Trasdosado Placa de Cartón Yeso	1,5 cm
Maestreado de Mortero de Cemento	1,5 cm
Alicatado Cerámico	2 cm

Tabla 18. Tabla capas tabiques alicatados a dos caras original. Elaboración propia.

T. ALICATADO A DOS CARAS	43,2 m ²
Capas:	Espesor:
Alicatado Cerámico	2 cm
Maestreado de Mortero de Cemento	1,5 cm
Trasdosado Placa de Cartón Yeso	1,5 cm
Aislamiento de Corcho Natural expandido	6 cm
Trasdosado Placa de Cartón Yeso	1,5 cm
Maestreado de Mortero de Cemento	1,5 cm
Alicatado Cerámico	2 cm

Tabla 60. Tabla capas tabiques alicatados a dos caras base biológica. Elaboración propia.

T.TRASTEROS ORIGINAL	73 m ²
Capas:	Espesor:
Enlucido de yeso	1,5 cm
Ladrillo hueco (LH7)	7 cm
Enlucido de yeso	1,5 cm

Tabla 19. Tabla capas tabiques trasteros original. Elaboración propia.

T.TRASTEROS	73 m ²
Capas:	Espesor:
Enlucido de yeso	1,5 cm
Ladrillo hueco (LH7)	7 cm
Enlucido de yeso	1,5 cm

Tabla 61. Tabla capas tabiques trasteros original. Elaboración propia.

Resumen de Materiales en la Tabiquería	m ²
Alicatado Cerámico	299,4
Enlucido de Yeso	73
Mortero de Cemento	594,08
Ladrillo Hueco 7	73
Chapa de acero	156,28
Aislamiento de Corcho Natural expandido 6 cm	873,08
Aislamiento de Corcho Natural expandido 8 cm	173,73
Trasdosado Placa de Cartón Yeso	3.083,65
Entramado de madera autoportante	1.046,81

Tabla 62. Tabla resumen de las superficies de materiales de la tabiquería. Elaboración propia.

Se calcula el impacto ambiental de la nueva solución constructiva tomando como referencia las emisiones y uso de recursos certificados en las declaraciones ambientales de cada producto.

Parámetro	Unidades	A1-A3 Producto por cada m ²							
		Alicatado Cerámico	Enl. de Yeso	Mortero de Cemento	LH7	6cm A.Corcho	8cm A.Corcho	Cartón Yeso	Entram. madera ³⁷
Carbón total embebido	kg CO ₂	3.203,6	367,92	415,86	2.084,9	-16.008,79	-4.247,35	13.783,9	-13.085,13
Energía total embebida	MJ	50.778,2	3.837,6	5.216,02	25.817,6	77.215,2	20.486,2	125.196,2	231.973,1

Tabla 63. Tabla resumen impacto total de los materiales de la tabiquería. Elaboración propia.

4.5 Cubierta:

La nueva solución de la cubierta no difiere mucho de la original del edificio, el cambio más importante es el estructural, ya que los forjados de CLT que se emplean incluyen el aislamiento térmico (estos ya se encuentran contabilizados en el capítulo 4.2). El resto de los materiales que no forman parte de la estructura se han mantenido prácticamente igual. Al emplear la solución estructural de forjado con aislamiento, los tipos de cubierta se reducen a solo dos:

CUBIERTA TIPO 1 y 2: Cubierta común (175,22 m²), terrazas planta 1 (31,73 m²) y terrazas ático (29,66 m²). Terraza planta baja (61 m²) y terrazas planta 2 y 3 (25,7 m²).

CUBIERTA TIPO 3: Casetón escalera (13,71 m²) y casetón ascensor (4,08 m²).

CUBIERTA TIPO 1 y 2	323,31 m ²
Capas:	Espesor:
Barrera de vapor bituminosa	0,2 cm
Forjado de CLT mix con aislamiento de corcho natural	24 cm
Arcilla expandida para formación de pendientes	8 cm
Mortero de cemento de regularización	2 cm
Lámina bituminosa impermeable	0,4 cm
Mortero de cemento	3,5 cm
Pavimento de baldosas	1,5 cm

Tabla 64. Tabla capas cubierta tipo 1 y 2. Elaboración propia.

CUBIERTA TIPO 3	17,79 m ²
Capas:	Espesor:
Barrera de vapor bituminosa	0,2 cm
Forjado de CLT mix con aislamiento de corcho natural	24 cm
Arcilla expandida para formación de pendientes	8 cm
Mortero de cemento de regularización	2 cm
Lámina bituminosa impermeable	0,4 cm
Lámina geotextil	0,4 cm
Grava lavada de 20 mm	8 cm

Tabla 65. Tabla capas cubierta tipo 3. Elaboración propia.

Las declaraciones ambientales de los productos empleados tienen como unidad funcional m², a excepción del mortero de cemento y la arcilla expandida, que se encuentra medido en m³.

Resumen de Materiales en la Cubierta	m ²
Barrera de vapor bituminosa	341,1
Lámina bituminosa impermeable	341,1
Pavimento de baldosas	323,31
Lámina geotextil	17,79
Grava lavada	17,79
Arcilla expandida para formación de pendientes	27,29 m ³
Mortero de cemento	18,14 m ³

Tabla 66. Tabla resumen de las superficies de materiales de la cubierta. Elaboración propia.

Conocidas las superficies de cada material, se calcula el impacto ambiental de la nueva solución constructiva, en base a las declaraciones ambientales de cada producto.

		A1-A3 TOTAL					
Parámetro	Unidades	Barrera vapor	Arc.Expand.	L. Impermeable	Pav. Baldosas	L.Geotextil	Mortero
Carbón total embebido	kg CO ₂	269,47	2.658,05	2.169,4	3.459,42	13,25	12.552,9
Energía total embebida	MJ	53.156,13	35.957,3	78.282,45	54.833,38	170,43	111.016,8

Tabla 67. Tabla resumen impacto total de los materiales de la cubierta. Elaboración propia.

4.6 Detalles Constructivos:

A continuación se muestran algunos detalles constructivos tipo del edificio.

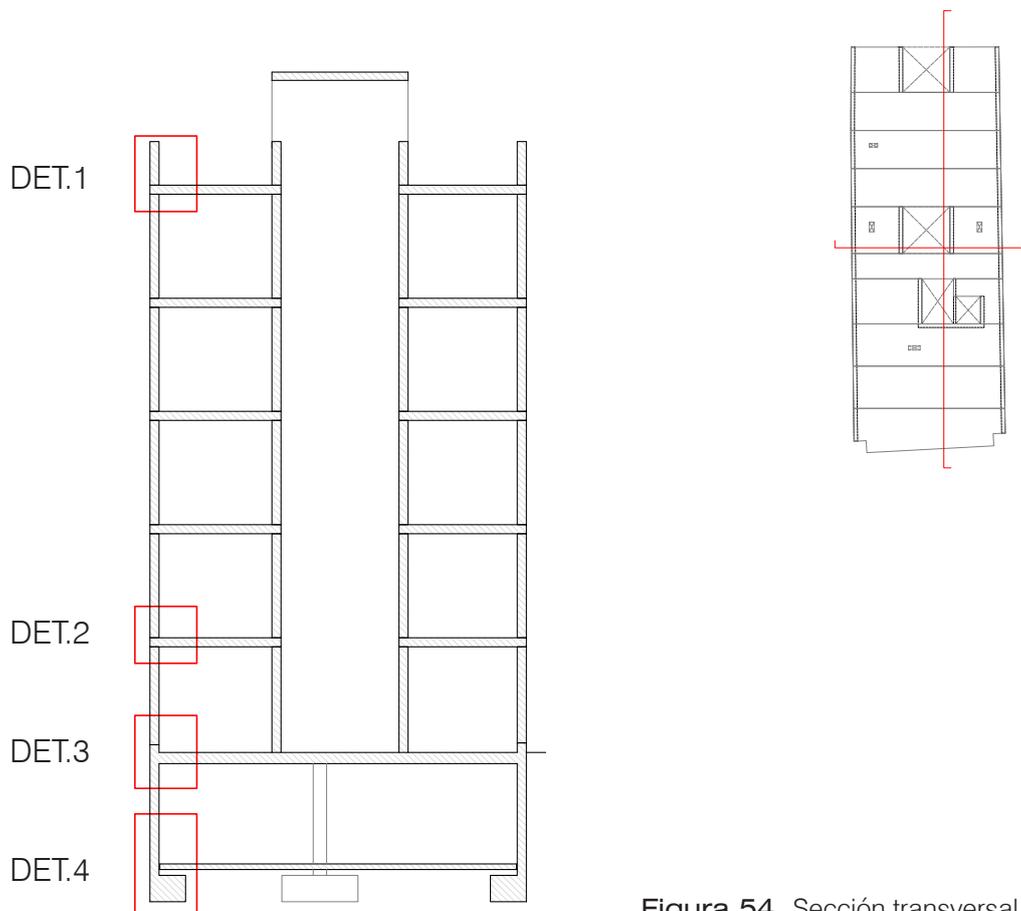


Figura 54. Sección transversal.
Elaboración propia.

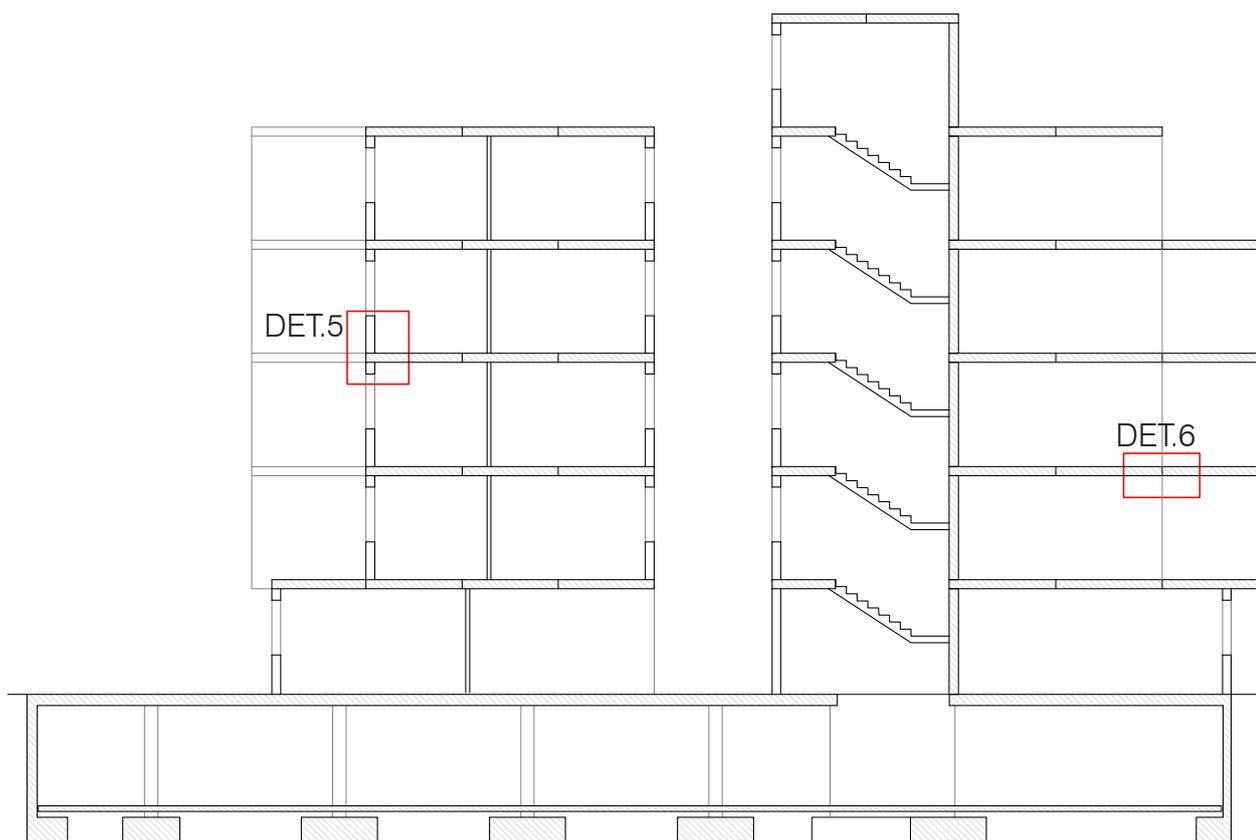


Figura 55. Sección longitudinal.
Elaboración propia.

Figura 56. Detalle 1.
Elaboración propia.

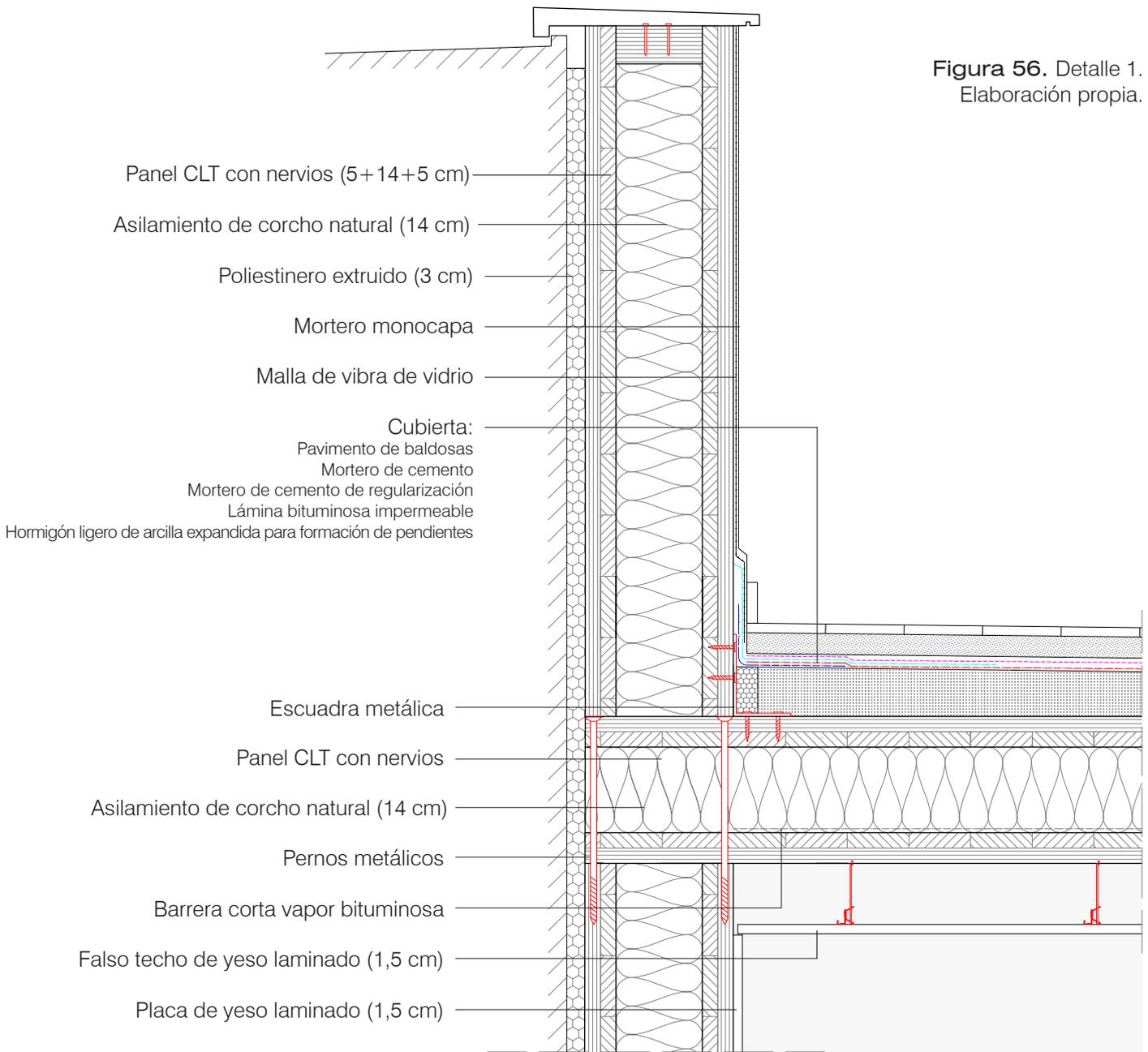


Figura 57. Detalle 2.
Elaboración propia.

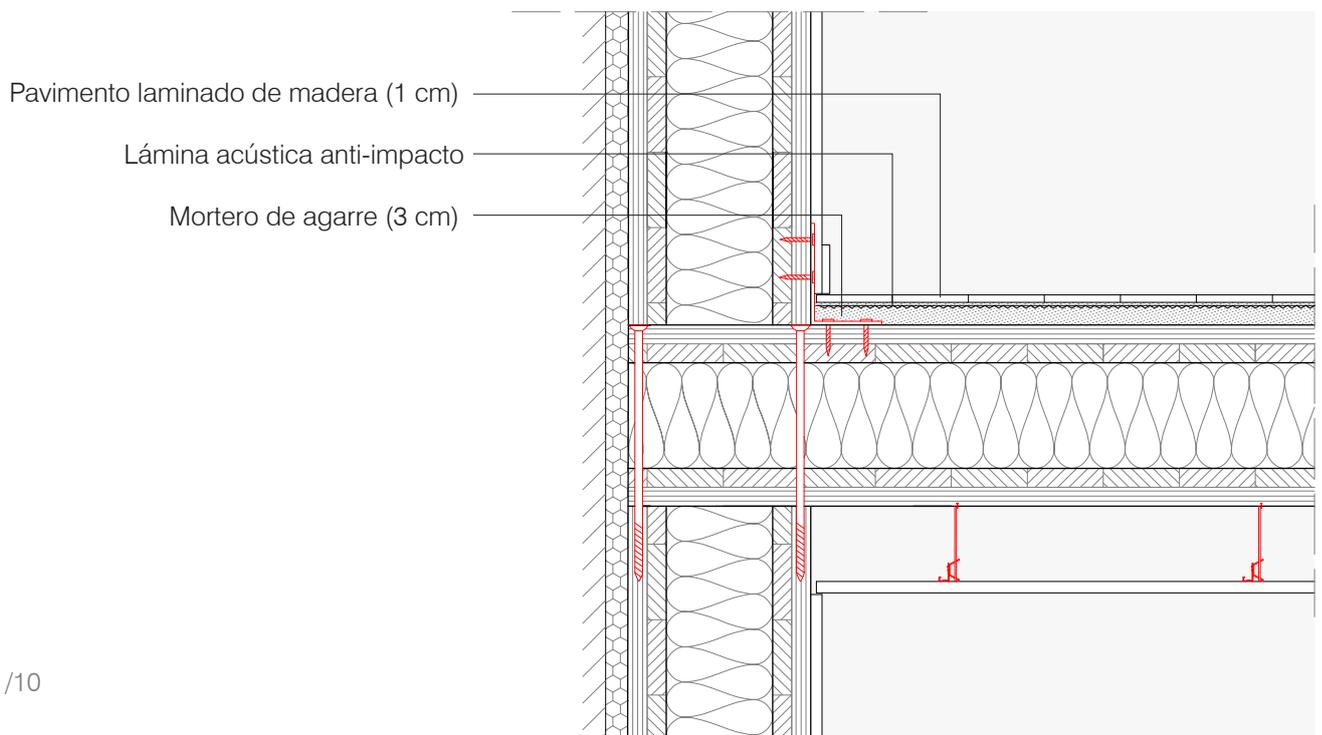


Figura 58. Detalle 3.
Elaboración propia.

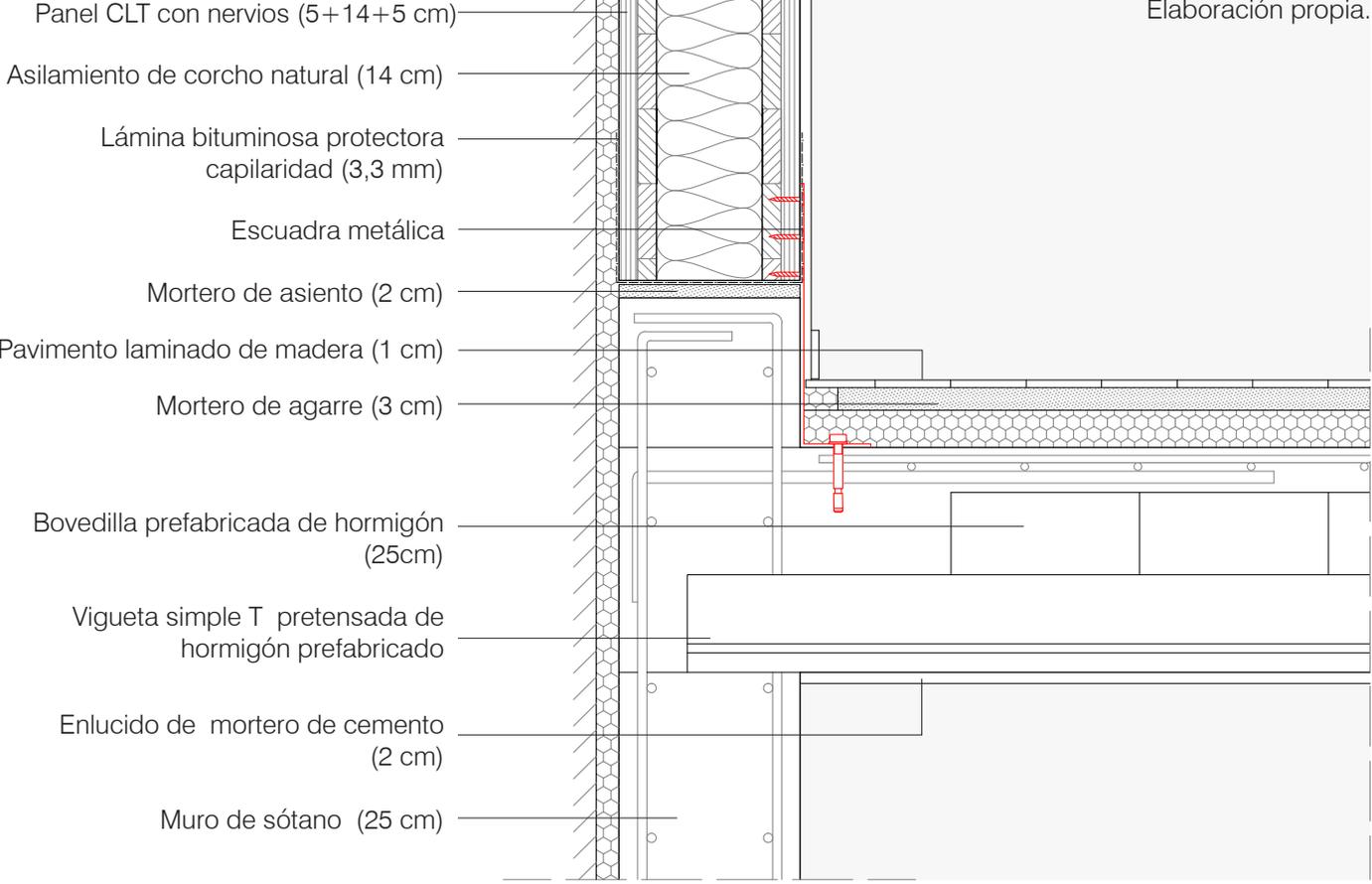
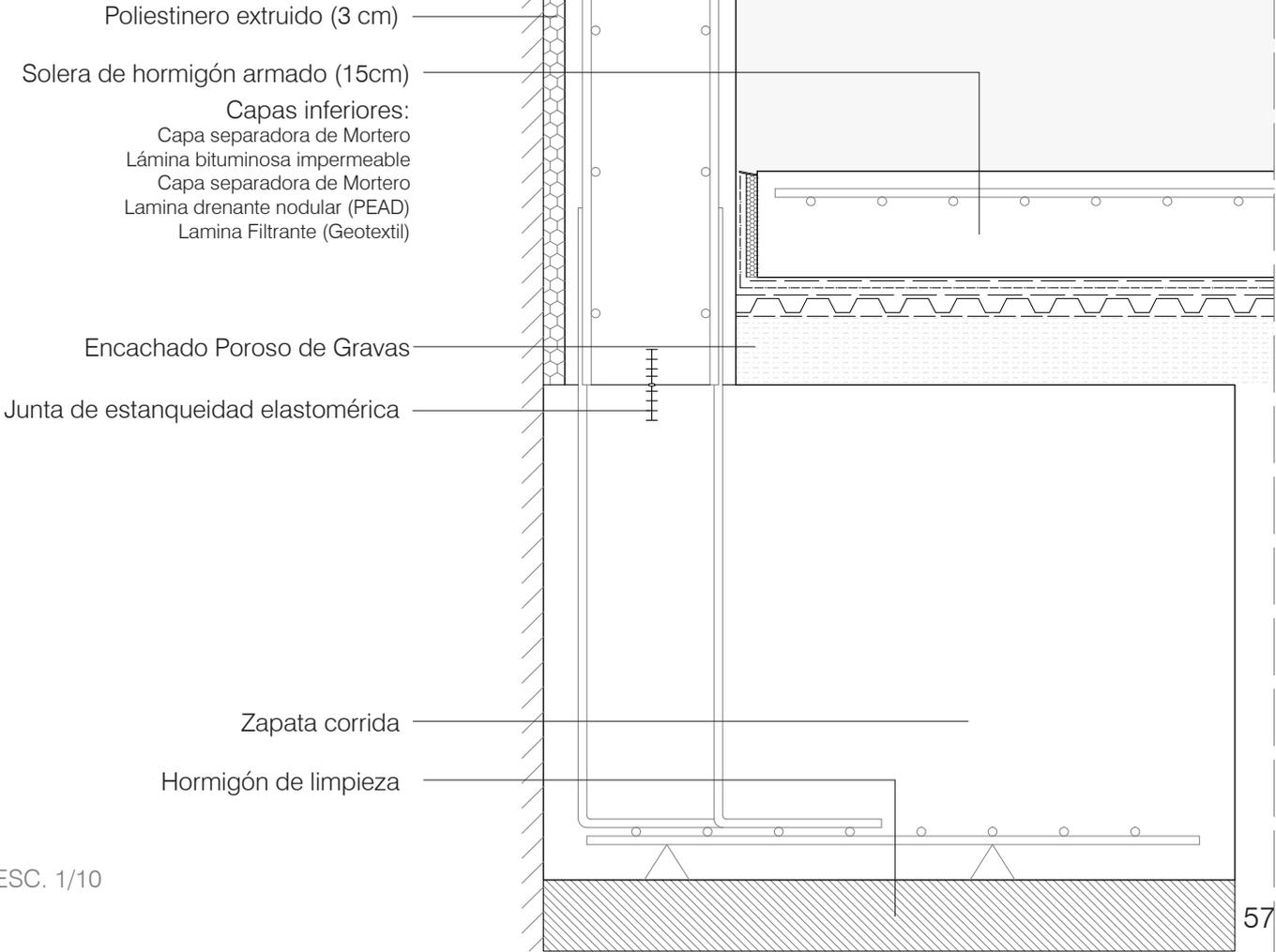


Figura 59. Detalle 4.
Elaboración propia.



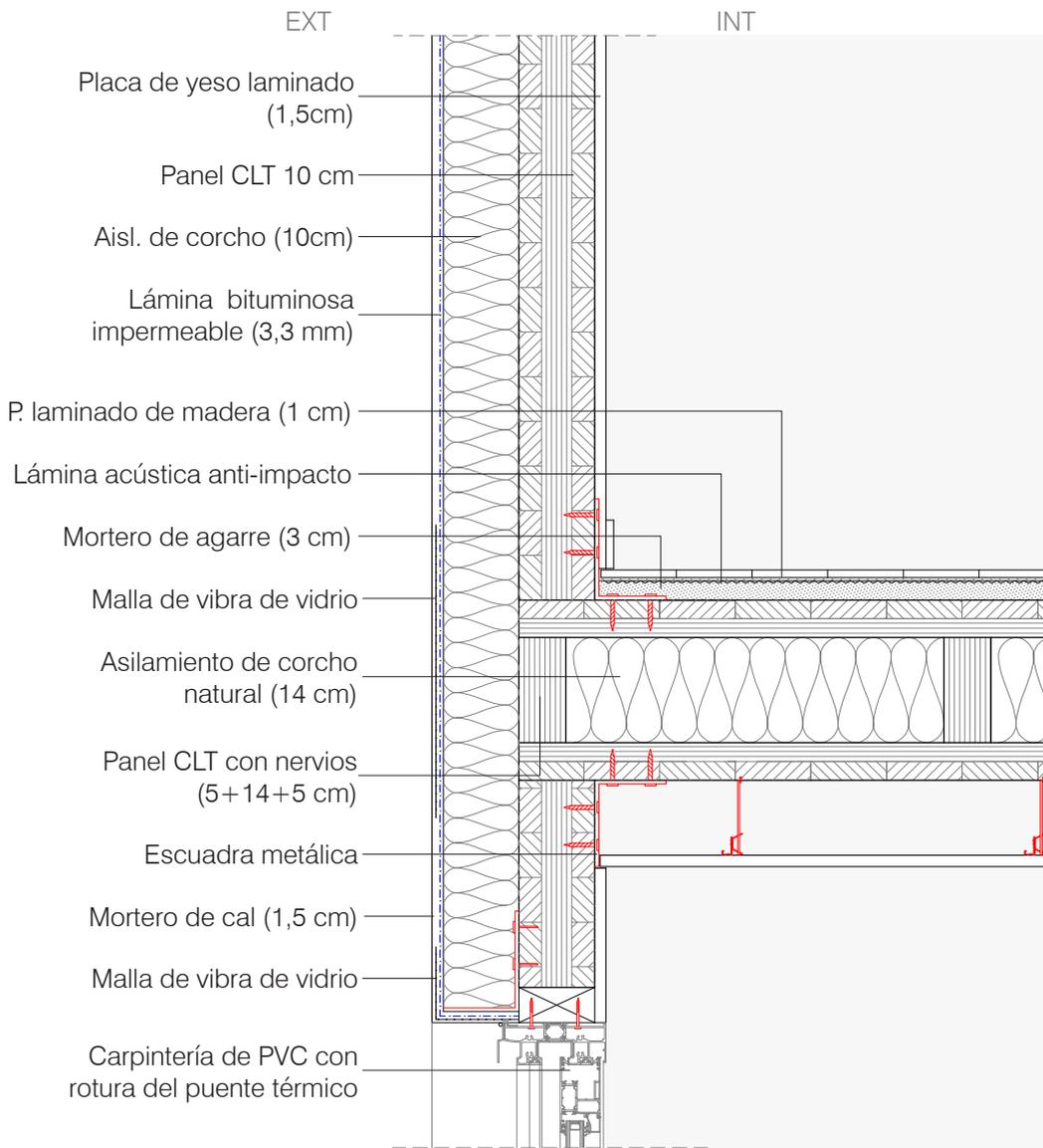


Figura 60. Detalle 5.
Elaboración propia.

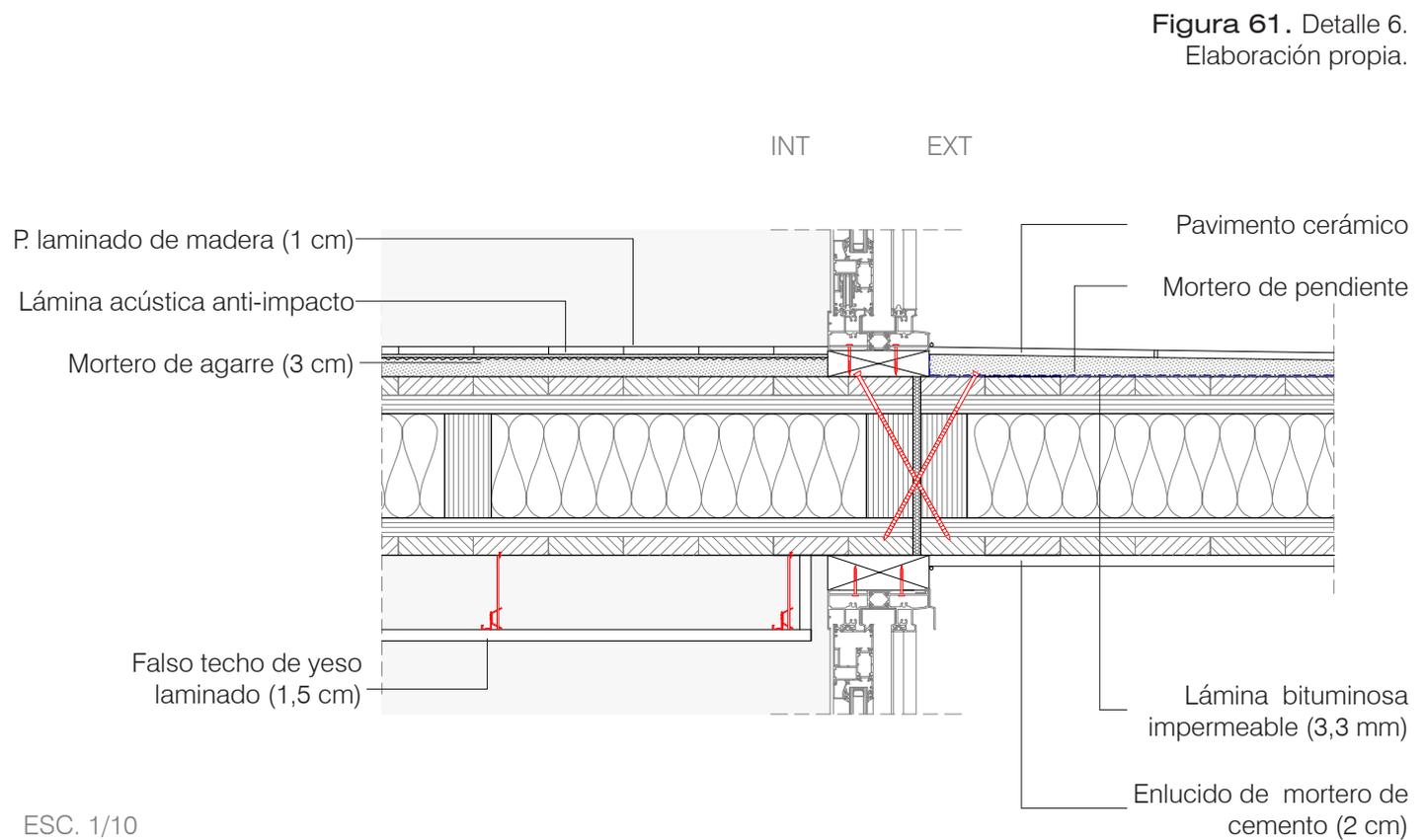


Figura 61. Detalle 6.
Elaboración propia.

4.7 Análisis global de la propuesta:

Una vez analizado el impacto de la fabricación de los materiales empleados en la construcción de cada una de las principales partes del edificio, se van a evaluar globalmente el edificio.

ESTRUCTURA Y CIMENTACIÓN:

El balance total de la estructura y cimentación es positivo, dando un potencial de almacenamiento de los materiales muy alto. El CO₂ emitido en la fabricación del hormigón empleado en la cimentación y en la estructura de la planta baja se encuentra totalmente compensado por el resto de la estructura.

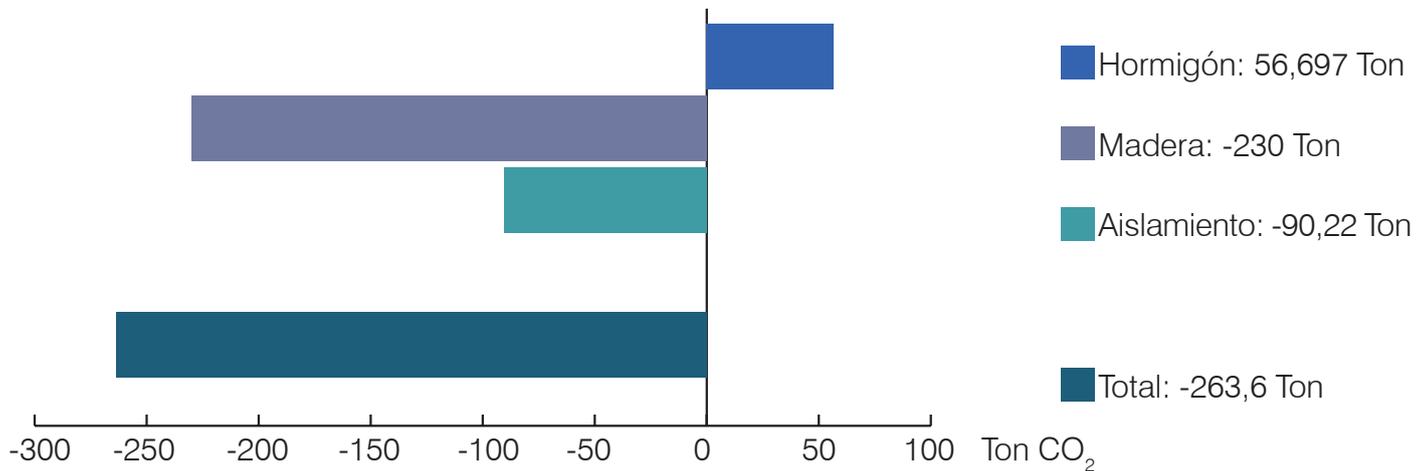


Figura 62. Gráfica emisiones CO₂ estructura y cimentación. Elaboración propia.

POTENCIAL DE ALMACENAMIENTO	263,6 Ton CO ₂
------------------------------------	---------------------------

La energía empleada en la fabricación puede parecer un número bastante elevado, sin embargo, el 83,14% procede de fuentes renovables (principalmente utilizadas en la fabricación del CLT y del aislamiento de corcho natural).

Energía Total Embebida en la Estructura y Cimentación	11.020.183,91 MJ de la cual un 16,86% es no renovable
--	--

CERRAMIENTOS:

El resultado de esta parte del edificio también es positivo, se puede observar como el CLT y el aislamiento de corcho contrarrestan las emisiones del resto de elementos.

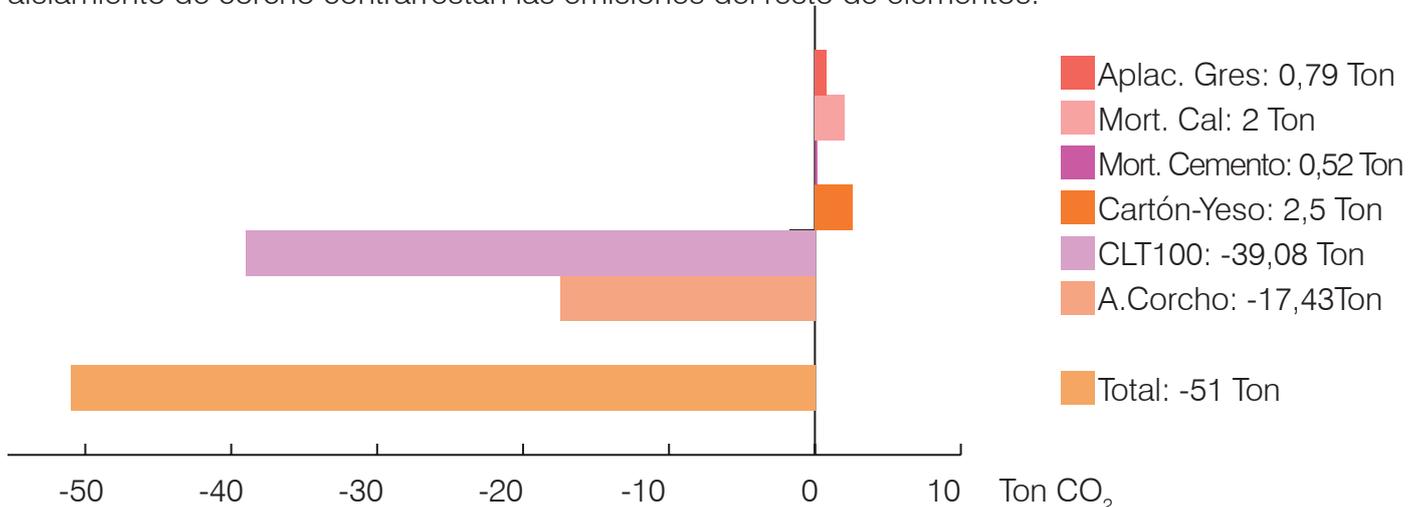


Figura 63. Gráfica emisiones CO₂ cerramientos. Elaboración propia.

POTENCIAL DE ALMACENAMIENTO	51 Ton CO ₂
------------------------------------	------------------------

Igual que en la estructura, el valor de la energía empleada es bastante alto, en este caso se debe a la utilización de CLT100 en lugar de ladrillos. La energía empleada para fabricar el CLT supone el 92% de la energía total de los cerramientos, sin embargo, el 88,4% de la empleada en el CLT procede de fuentes renovables.

Energía Total Embebida en los Cerramientos	1.866.560 MJ
---	--------------

PARTICIONES:

Si se observa el gráfico de emisiones de CO₂ de cada uno de los materiales, se puede ver como el trasdosado de cartón-yeso de la tabiquería es el elemento que más CO₂ emite a la atmósfera. Sin embargo, gracias al uso de entramados de madera, así como de asilamiento de corcho natural, el balance de emisiones resulta positivo.

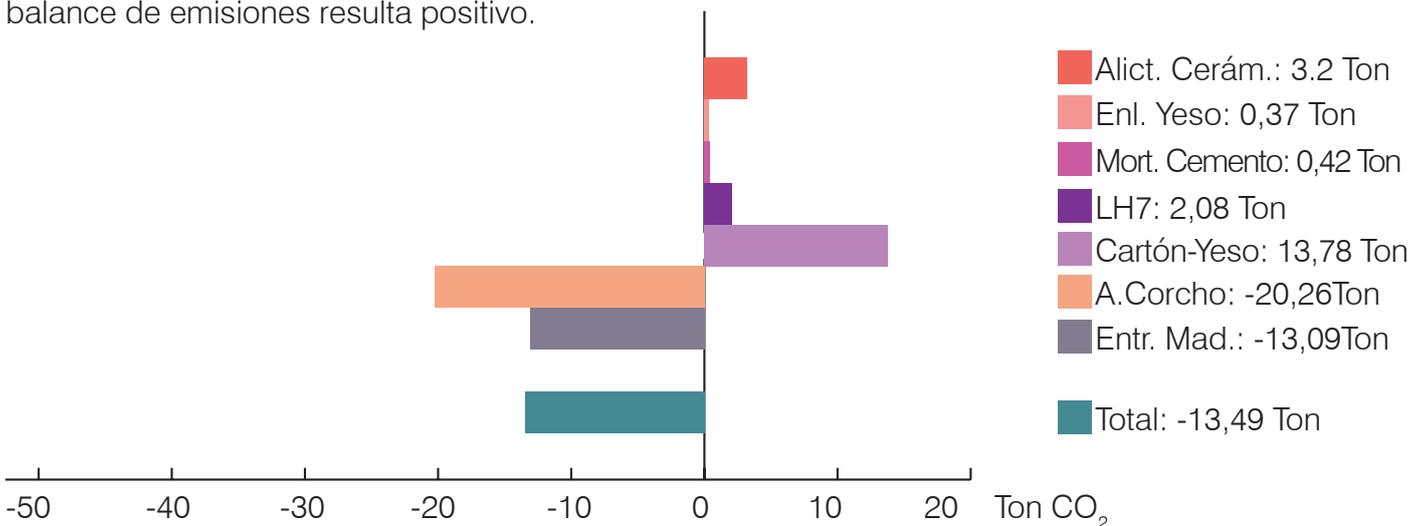


Figura 64. Gráfica emisiones CO₂ particiones. Elaboración propia.

POTENCIAL DE ALMACENAMIENTO	13,49 Ton CO ₂
------------------------------------	---------------------------

Del total de la energía empleada en la fabricación de los materiales para las particiones interiores, un 51,11% ha sido obtenida de fuentes renovables.

Energía Total Embebida en las Particiones	540.520,12 MJ
--	---------------

CUBIERTA:

Las emisiones de cada material son las siguientes (a excepción del forjado, que está contabilizado en el apartado de estructura):

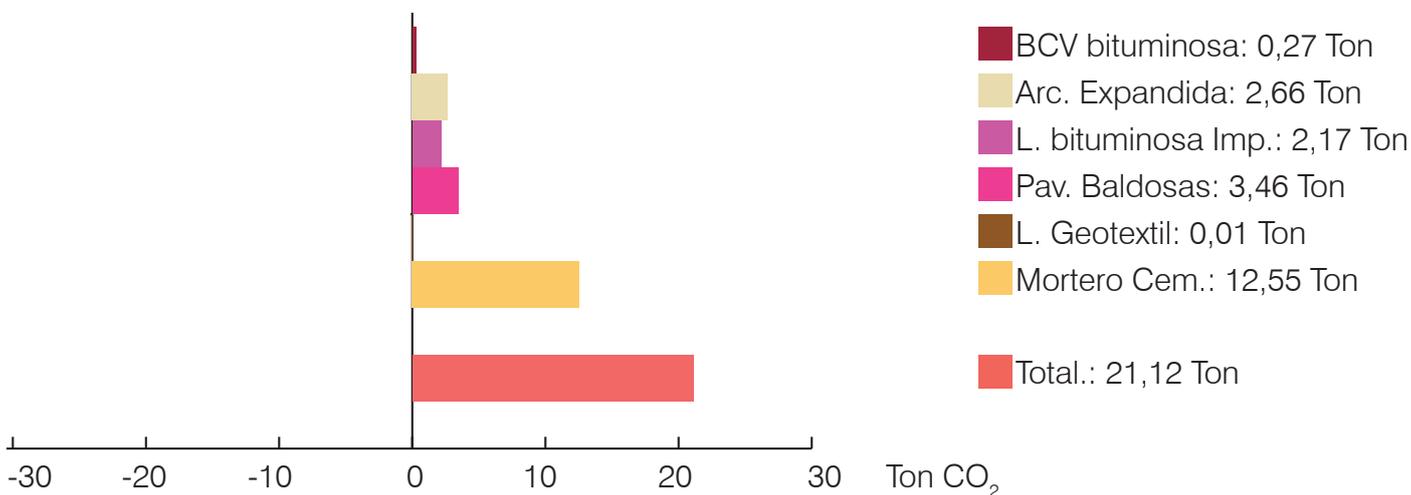


Figura 65. Gráfica emisiones CO₂ cubierta. Elaboración propia.

Carbón Total Embebido Total en la Cubierta	21,12 Ton CO₂
---	---------------------------------

En el caso de la cubierta, los materiales emiten CO₂ a la atmósfera. Aunque, se ha de tener en cuenta que el material aislante de la cubierta ha sido contabilizado en el apartado de estructura, ya que forma parte de los forjados. El potencial de almacenamiento del corcho natural (aislante) correspondiente a la cubierta es de 14,6 toneladas de CO₂, lo que compensa la mayor parte de las emisiones. Sin embargo, siguen siendo altas debido mayormente al mortero de cemento. Ocurre lo mismo con la energía empleada en la fabricación de los materiales de cubierta, el componente que más contribuye es el mortero de cemento.

Energía Total Embebida en la Cubierta	333.416,49 MJ
--	----------------------

CONCLUSIONES:

Como se observa en la fig.66, todas las partes del edificio, a excepción de la cubierta (solamente incluye los materiales que no forman parte de la estructura), tienen carbón embebido negativo, es decir, son capaces de absorber y actuar como almacenes de CO₂. Las emisiones generadas por los materiales de la cubierta son compensadas por las otras partes del edificio.

En la fig.67, destaca el peso de la energía embebida de la estructura y cimentación respecto del resto de las partes del edificio. También es ligeramente superior la de los cerramientos, si la comparamos con las particiones y la cubierta. En ambos casos se debe al uso del CLT. Del total de la energía embebida en el edificio, un 85,98% corresponde al CLT, siendo un 88,4% de esta energía procedente de fuentes renovables.

Carbón total embebido:

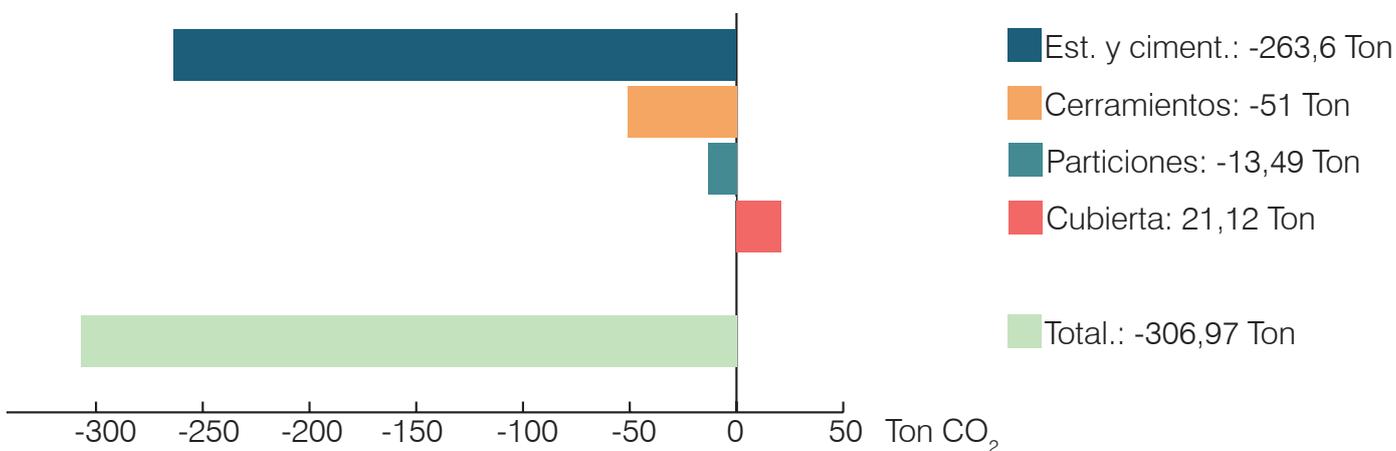


Figura 66. Carbón total embebido. Elaboración propia.

Energía total embebida:

13.760.696 MJ = 3.822.415,55 kWh

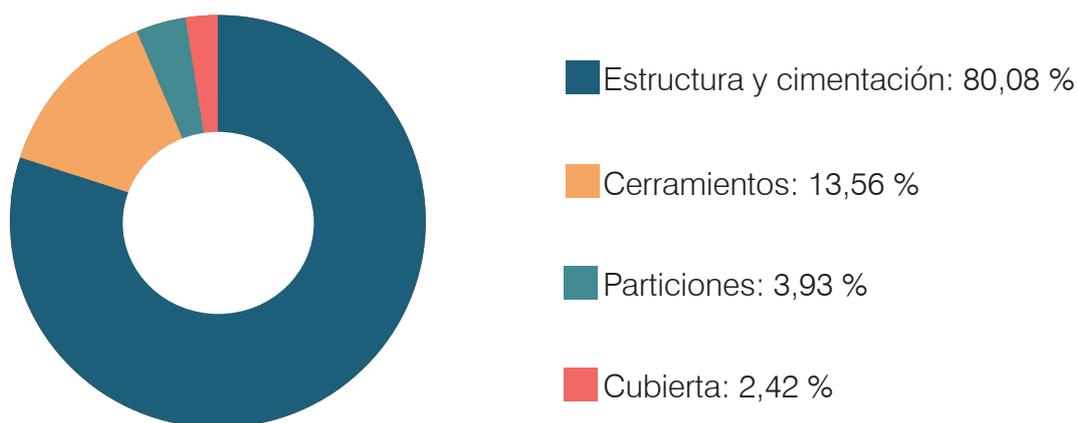


Figura 67. Energía total embebida. Elaboración propia.

5. RESULTADOS Y CONCLUSIONES

En la actualidad se considera una prioridad la necesidad de abordar la transición hacia un sector, el de la construcción responsable, que reduzca las emisiones de carbono. En esta perspectiva, los materiales de base biológica representan una oportunidad que no debe desperdiciarse.

Tras el análisis realizado sobre los materiales empleados originalmente, así como el llevado a cabo sobre los materiales de base biológica; se ha podido comprobar que, el empleo de materiales de origen natural, puede revertir de manera sustancial los impactos generados en la producción de los utilizados convencionalmente en la construcción. Se han cumplido los objetivos planteados al comienzo del trabajo; que eran reducir las emisiones de gases contaminantes, así como de ofrecer una alternativa constructiva viable para un edificio de viviendas.

En el mercado existen un número importante de materiales de origen natural, de entre los que se ha seleccionado cinco, por su gran disponibilidad y con el objetivo de acotar la extensión de este Trabajo Final de Grado.

Al observar la figura 68, queda patente el potencial de almacenamiento total de los materiales empleados en la solución de base biológica, especialmente en la estructura, gracias al uso del CLT combinado con el aislamiento de corcho natural. Ha quedado demostrado cómo el uso de hormigón emite grandes cantidades de gases contaminantes a la atmósfera, mayormente debido a la fabricación del cemento (ver página 18), y que, solamente cambiando este material, los beneficios ambientales son muy positivos. El carbón embebido de la nueva solución de cubierta es inferior que en la original, debido a la sustitución del aislante de poliestireno extruido por el de corcho natural (colocado en el forjado de CLT).

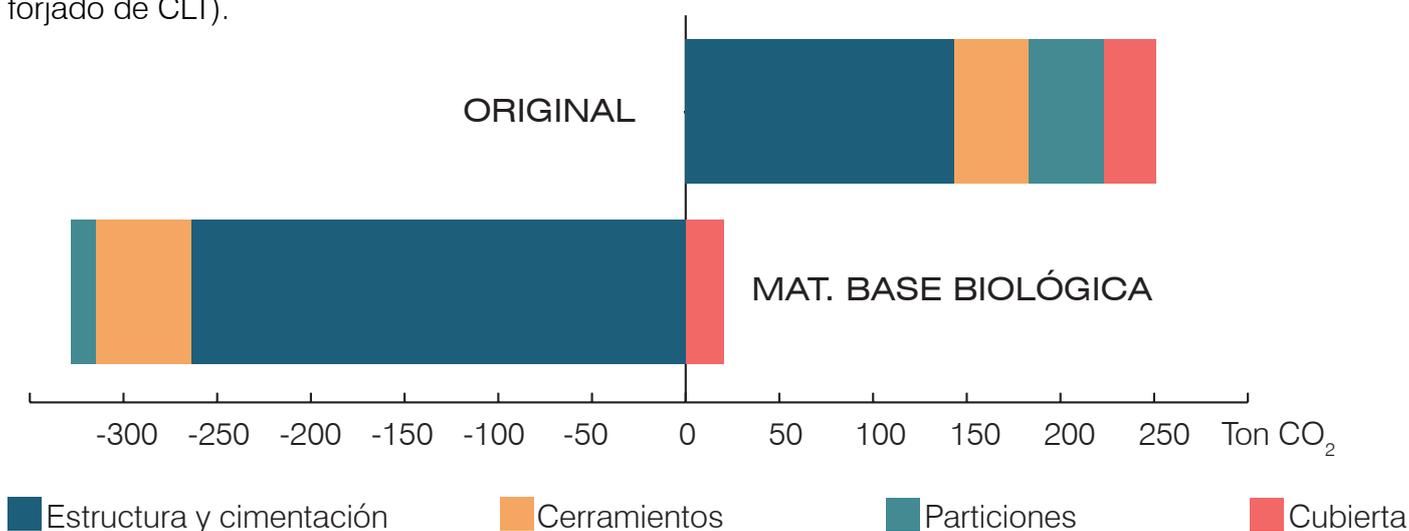


Figura 68. Gráfica comparativa carbón total embebido. Elaboración propia.

Carbón Total Embebido solución ORIGINAL	251,04 Toneladas de CO ₂
Carbón Total Embebido solución MAT. BASE BIOLÓGICA (potencial de almacenamiento de CO ₂)	-306,97 Toneladas de CO ₂

Frente a la solución original, donde las emisiones de CO₂ eran equivalentes (en base a datos del Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía [IDAE (s.f)]) a recorrer 1.793.142 km con un vehículo compacto de gasolina, la nueva solución constructiva tiene una capacidad de almacenamiento de CO₂ de más de 300 toneladas, que sería equivalente a evitar el consumo de un vehículo durante un recorrido de 2.192.642 km.

Energía total embebida:

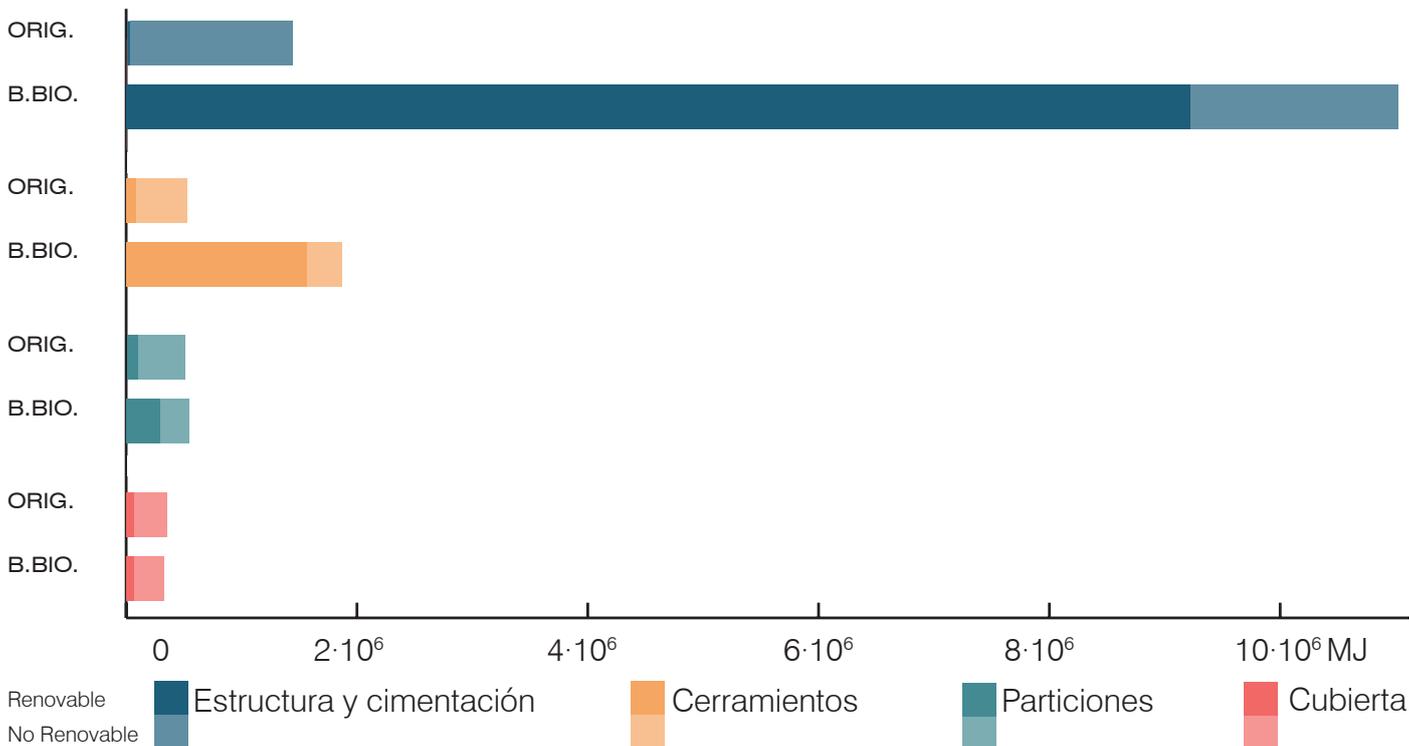


Figura 69. Gráfica comparativa energía total embebida. Elaboración propia.

Al analizar la figura 69, llama la atención el valor de la energía empleada en la fabricación de los materiales de la estructura y cimentación, ya que el original es muy inferior al de base biológica. Este valor tan alto se debe al elevado uso de recursos en la fase A1 (extracción y procesamiento de materias primas) del CLT empleado. Aunque es cierto que otras declaraciones ambientales, de productos de otros países, reducen notablemente el uso de recursos en esta fase, pero para este trabajo se ha decidido emplear un producto nacional. Esto se puede ver en el apartado 3.2.2.

Sin embargo, como se observa en la figura 70, el uso de energía procedente de fuentes no renovables en la solución con materiales de base biológica es inferior a la solución original. A pesar de estar en valores inferiores, el objetivo sería reducirlos más, promoviendo el uso de energías renovables entre los productores de materiales de construcción.

Energía total embebida:

ORIGINAL: 2.824.336 MJ

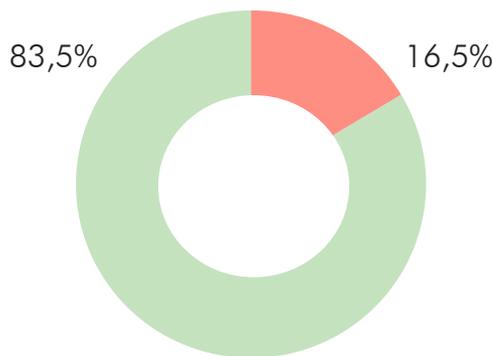
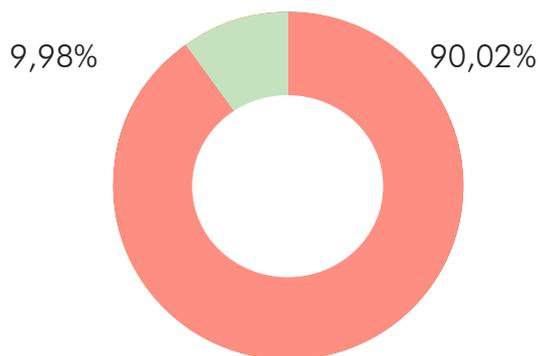
Renovable: 282.003 MJ

No renovable: 2.542.333 MJ

MAT. BASE BIOLÓGICA: 13.760.696 MJ

Renovable: 11.490.501 MJ

No renovable: 2.270.180 MJ



■ Energía procedente de fuentes renovables

■ Energía procedente de fuentes no renovables

Figura 70. Gráfica comparativa energía total embebida renovable y no renovable. Elaboración propia.

Hay que tener en cuenta que estos datos se refieren únicamente a la fase de producción del material de construcción (Fases A1-3 del ACV). Por lo que habría que añadir el impacto medioambiental generado durante el transporte y la puesta en obra, ya que producirá emisiones de CO₂ y reducirá el potencial de almacenamiento de carbono. También se ha de considerar la fase final del producto, si una vez finalice su vida útil va a ser reciclado o reutilizado de alguna manera o, por lo contrario, se va a deshechar. Es decir, para tener un análisis completo del edificio, se deberían de evaluar todas las fases del análisis del ciclo de vida (producción del material, puesta en obra, uso durante la vida útil y final de su vida útil).

El éxito de estos materiales a largo plazo está condicionado por la capacidad de resistir el paso del tiempo y las condiciones ambientales. La empresa SOFALCA, que produce el aislamiento de corcho, garantiza una durabilidad de 50 años del producto, equivalente a la vida útil de los aislantes de lana de roca. Respecto del CLT, depende mayormente de la especie de madera y del tratamiento que se le aplique. Pero la mejor manera de proteger y garantizar la durabilidad de la madera es mediante el diseño de detalles constructivos que protejan el material frente a agentes bióticos (insectos, hongos...) y abióticos (químicos, mecánicos...), además de evitar la acumulación de humedad en la madera. Igual que con otros materiales de construcción, es importante llevar un mantenimiento regular, que permita detectar y abordar los problemas a tiempo, prolongando así su vida útil.

Con los datos presentados en el trabajo y las comparaciones realizadas en este último capítulo, podemos concluir que un cambio en la elección de los materiales no solo no evita la emisión de toneladas de CO₂ a la atmósfera, sino que tiene el potencial de actuar como almacén de carbono. Está en manos de los arquitectos y constructores producir un cambio real en el sector de la construcción que puede pasar de ser un problema a ser una solución.

6. FIGURAS Y TABLAS

6.1 Índice de figuras:

Figura 1. Emisiones globales de CO₂ relacionadas con la energía en los escenarios de políticas declaradas, desarrollo sostenible y cero neto, 1990-2050.

IEA (2022), *Buildings*, IEA, Paris. www.iea.org/reports/buildings

Figura 2. Emisiones globales de CO₂ relacionadas con la energía por sector

IEA (2022), *Buildings*, IEA, Paris. <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/global-energy-related-co2-emissions-by-sector-2020>

Figura 3. Demanda de Energía Primaria en la fabricación de 1m² de material.

Bribián et al. (2011), *Life cycle assessment of building materials: Comparative analysis of energy and environmental impacts and evaluation of the eco-efficiency improvement potential*, Building and Environment 46 1133-1140. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2010.12.002>.

Figura 4. Emisiones de CO₂ en la fabricación de 1m² de material.

Bribián et al. (2011), *Life cycle assessment of building materials: Comparative analysis of energy and environmental impacts and evaluation of the eco-efficiency improvement potential*, Building and Environment 46 1133-1140. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2010.12.002>.

Figura 5. Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).

Naciones Unidas (ONU). *17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible*, 25 Septiembre 2015.

Figura 6. Fases del análisis del ciclo de vida según EN 15804. Elaboración propia.

Figura 7. Imagen del proyecto construido. Elaboración propia.

Figura 8. Plano de situación.

Hervás García, J. (2020). *Edificio de 9 viviendas* [Proyecto de ejecución]. Sanna Arquitectura

Figura 9. Planta baja.

Hervás García, J. (2020). *Edificio de 9 viviendas* [Proyecto de ejecución]. Sanna Arquitectura

Figura 10. Planta sótano.

Hervás García, J. (2020). *Edificio de 9 viviendas* [Proyecto de ejecución]. Sanna Arquitectura

Figura 11. Planta tipo.

Hervás García, J. (2020). *Edificio de 9 viviendas* [Proyecto de ejecución]. Sanna Arquitectura

Figura 12. Planta ático.

Hervás García, J. (2020). *Edificio de 9 viviendas* [Proyecto de ejecución]. Sanna Arquitectura

Figura 13. Sección longitudinal.

Hervás García, J. (2020). *Edificio de 9 viviendas* [Proyecto de ejecución]. Sanna Arquitectura

Figura 14. Alzado frontal.

Hervás García, J. (2020). *Edificio de 9 viviendas* [Proyecto de ejecución]. Sanna Arquitectura

Figura 15. Alzado trasero.

Hervás García, J. (2020). *Edificio de 9 viviendas* [Proyecto de ejecución]. Sanna Arquitectura.

Figura 16. Referencias cerramientos y particiones.

Extraído de: Hervás García, J. (2020). *Edificio de 9 viviendas* [Proyecto de ejecución]. Sanna Arquitectura.

Figura 17. Carbón total embebido. Elaboración propia.

Figura 18. Energía total embebida. Elaboración propia.

Figura 19. Uso de paja como cubierta.

Sandak, Anna et al. (2019) *Biomaterials for Building Skins*. Environmental Footprints and Eco-design of Products and Processes, 27–64. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-13-3747-5_2

Figura 20. Emisiones y almacenamiento de carbono de 1 tonelada de material.

Churkina, G., Organschi, A., Reyer, C.P.O. et al. (2020) *Buildings as a global carbon sink*. Nat Sustain 3, 269–276. <https://doi.org/10.1038/s41893-019-0462-4>

Figura 21. Emisiones y almacenamiento de CO₂ de materiales cementosos y de base biológica en diferentes etapas del ciclo de vida de EN 15804.

Arehart et al. (2021). *Carbon sequestration and storage in the built environment*, Sustainable Production and Consumption 27 1047-1063. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2021.02.028>

Figura 22. Vista exterior del pabellón.

DP6 (2020), *The natural pavilion*, Presskit, Floriade Expo 2022

Figura 23. Vista interior del pabellón.

DP6 (2020), *The natural pavilion*, Presskit, Floriade Expo 2022

Figura 24. Muro con aislamiento de paja.

DP6 (2020), *The natural pavilion*, Presskit, Floriade Expo 2022

Figura 25. Detalle de uniones de vigas y pilares.

DP6 (2020), *The natural pavilion*, Presskit, Floriade Expo 2022

Figura 26. Sistema estructural y construcción.

Exit Architects (s.f.). *Torre mjostarnet, Noruega*, Madera y construcción. www.maderayconstruccion.com/torre-mjostarnet-noruega-arquitecturademadera/

Figura 27. Proceso constructivo.

Thorns, Ella (2018) *La torre de madera más alta del mundo se construye en Noruega*, ArchDaily. www.archdaily.cl/cl/892399/la-torre-de-madera-mas-alta-del-mundo-se-construye-en-noruega

Figura 28. Vigas de madera laminada.

Maderas hermanos Guillén. www.hguillen.com/vigas-laminadas-estructurales-de-abeto-gl24h/

Figura 29. Vigas y pilares de madera aserrada de pino. The natural pavilion.

DP6 (2020), *The natural pavilion*, Presskit, Floriade Expo 2022

Figura 30. CLT

Pérez Santisteban, Julen (2019) *Construcción con madera CLT en el estudio Waugh Thistleton Architects*, Tectónica. www.tectonica.archi/articulos/construccion-con-madera-clt-en-el-estudio-waugh-thistleton-architects/

Figura 31. Diagrama CLT

Pérez Santisteban, Julen (2019) *Construcción con madera CLT en el estudio Waugh Thistleton Architects*, Tectónica. www.tectonica.archi/articulos/construccion-con-madera-clt-en-el-estudio-waugh-thistleton-architects/

Figura 32. Planchas de aislamiento de corcho
Sofalca, (2017). *Environmental product declaration*.

Figura 33. Fachada con revestimiento exterior de planchas de corcho
Sofalca, *Rehabilitación en Cascais*. <https://www.sofalca.pt/wp-content/uploads/2020/11/Asset-10@0.75x.png>

Figura 34. Aislante interior en fibra de madera Steico internal, *Documento comercial*

Figura 35. Aislante en fibra de madera.
Miranda, Juanma (2018), *Principales aplicaciones de la fibra de madera como aislamiento en el hogar*, Madera sostenible. www.madera-sostenible.com/madera/principales-aplicaciones-de-la-fibra-de-madera-como-aislamiento-en-el-hogar/

Figura 36. Planta de cimentación. Elaboración propia.

Figura 37. Sección CLT MIX. Elaboración propia.

Figura 38. Esquema estructural. Elaboración propia.

Figura 39. Planta Baja. Elaboración propia.

Figura 40. Forjado Planta Baja. Elaboración propia.

Figura 41. Planta 1. Elaboración propia.

Figura 42. Forjado Planta 1. Elaboración propia.

Figura 43. Plantas 2,3 y 4. Elaboración propia.

Figura 44. Forjado Plantas 2,3 y 4. Elaboración propia.

Figura 45. Planta 5. Elaboración propia.

Figura 46. Forjado Planta 5. Elaboración propia.

Figura 47. Sección fachada original. Elaboración propia.

Figura 48. Sección fachada base biológica. Elaboración propia.

Figura 49. Sección fachada planta baja original. Elaboración propia.

Figura 50. Sección fachada planta baja b.biológica. Elaboración propia.

Figura 51. Sección tabique separación con elementos comunes original. Elaboración propia.

Figura 52. Sección tabique separación con elementos comunes base biológica. Elaboración propia.

Figura 53. Axonometría de la tabiquería interior de base biológica. Elaboración propia.

Figura 54. Sección transversal. Elaboración propia.

Figura 55. Sección longitudinal. Elaboración propia.

Figura 56. Detalle 1. Elaboración propia.

Figura 57. Detalle 2. Elaboración propia.

Figura 58. Detalle 3. Elaboración propia.

Figura 59 Detalle 4. Elaboración propia.

Figura 60. Detalle 5. Elaboración propia.

Figura 61. Detalle 6. Elaboración propia.

Figura 62. Gráfica emisiones CO₂ estructura y cimentación. Elaboración propia.

Figura 63. Gráfica emisiones CO₂ cerramientos. Elaboración propia.

Figura 64. Gráfica emisiones CO₂ particiones. Elaboración propia.

Figura 65. Gráfica emisiones CO₂ cubierta. Elaboración propia.

Figura 66. Carbón total embebido. Elaboración propia.

Figura 67. Energía total embebida. Elaboración propia.

Figura 68. Gráfica comparativa carbón total embebido. Elaboración propia.

Figura 69. Gráfica comparativa energía total embebida. Elaboración propia.

Figura 70. Gráfica comparativa energía total embebida renovable y no renovable. Elaboración propia.

6.2 Índice de tablas:

Tabla 1. Tabla resumen de las fuentes de declaraciones ambientales. Elaboración propia.

Tabla 2. Tabla impactos ambientales de 1m³ de hormigón.

Global EPD y AENOR. (2022). *Declaraciones ambientales de producto de hormigones*. (Código GlobalEPD EN16757-002).

Tabla 3. Tabla uso de recursos de 1m³ de hormigón.

Global EPD y AENOR. (2022). *Declaraciones ambientales de producto de hormigones*. (Código GlobalEPD EN16757-002).

Tabla 4. Tabla impactos ambientales de 1kg de cemento.

Global EPD y AENOR. (2014). *Declaración Ambiental de Producto CEMENTO CEMI*. (Código GlobalEPD 003-001 Rev.4).

Tabla 5. Tabla volúmenes de hormigón utilizados en la cimentación. Elaboración propia.

Tabla 6. Tabla volúmenes de hormigón utilizados en la estructura horizontal. Elaboración propia.

Tabla 7. Tabla volúmenes de hormigón utilizados en la estructura vertical. Elaboración propia.

Tabla 8. Tabla capas fachada exterior original. Elaboración propia.

Tabla 9. Tabla capas fachada exterior planta baja original. Elaboración propia.

Tabla 10. Tabla capas fachada medianera original. Elaboración propia.

Tabla 11. Tabla resumen de las superficies de materiales de las fachadas. Elaboración propia.

Tabla 12. Tabla resumen impacto de los materiales de la fachada. Datos obtenidos de:

Global EPD y AENOR. (2019). *Declaración Ambiental de Recubrimientos Cerámicos Españoles*. (Código GlobalEPD: 002-042).

Global EPD y AENOR. (2018). *Declaración Ambiental de Morteros para revoco y enlucido*. (Código GlobalEPD: 006-004 rev. 2).

Global EPD y AENOR. (2018). *Declaración Ambiental de Morteros para la colocación de baldosas cerámicas*. (Código GlobalEPD: 006-002 rev. 2).

Global EPD y AENOR. (2017). *Declaración Ambiental de Ladrillos y bloques cerámicos para revestir. Pieza "P" según la Norma UNE-EN 771-1*. (Código GlobalEPD: 008-006).

Global EPD y AENOR. (2018). *Declaración Ambiental de Morteros para impermeabilización*. (Código GlobalEPD: 006-007 rev. 2).

EPD International. (2020). *Declaración Ambiental de Aislamiento de Lana de Roca*. (Código EPD:S-P-01848).

EPD International. (2020). *Declaración Ambiental de Placa de Yeso Laminado*. (Código EPD:S-P-01598).

Tabla 13. Tabla resumen impacto total de los materiales de la fachada. Elaboración propia.

Tabla 14. Tabla capas tabique separación de viviendas original. Elaboración propia.

Tabla 15. Tabla capas tabiques caja de escaleras y separación con elementos comunes original. Elaboración propia

Tabla 16. Tabla capas tabiques de distribución interior original. Elaboración propia.

Tabla 17. Tabla capas tabiques alicatados a una cara original. Elaboración propia.

Tabla 18. Tabla capas tabiques alicatados a dos caras original. Elaboración propia.

Tabla 19. Tabla capas tabiques trasteros original. Elaboración propia.

Tabla 20. Tabla resumen de las superficies de materiales de la tabiquería. Elaboración propia.

Tabla 21. Tabla resumen impacto de los materiales de la tabiquería. Datos obtenidos de: Global EPD y AENOR. (2019). *Declaración Ambiental de Recubrimientos Cerámicos Españoles*. (Código GlobalEPD: 002-042).

Global EPD y AENOR. (2020). *Declaración Ambiental de Yeso Aligerado de Aplicación Manual y Yeso Aligerado de Proyección Mecánica*. (Código GlobalEPD: 004-003).

Global EPD y AENOR. (2018). *Declaración Ambiental de Morteros para la colocación de baldosas cerámicas*. (Código GlobalEPD: 006-002 rev. 2).

Global EPD y AENOR. (2017). *Declaración Ambiental de Ladrillos y bloques cerámicos para revestir. Pieza "P" según la Norma UNE-EN 771-1*. (Código GlobalEPD: 008-006).

EPD International. (2020). *Declaración Ambiental de Aislamiento de Lana de Roca*. (Código EPD:S-P-01848).

EPD International. (2020). *Declaración Ambiental de Placa de Yeso Laminado*. (Código EPD:S-P-01598).

EPD International. (2021). *Declaración Ambiental de Perfilera metálica High Stil*. (Código EPD:S-P-02251).

Tabla 22. Tabla resumen impacto total de los materiales de la tabiquería. Elaboración propia.

Tabla 23. Tabla capas cubierta tipo 1. Elaboración propia.

Tabla 24. Tabla capas cubierta tipo 2. Elaboración propia.

Tabla 25. Tabla capas cubierta tipo 3. Elaboración propia.

Tabla 26. Tabla resumen de las superficies de materiales de la cubierta. Elaboración propia.

Tabla 27. Tabla resumen impacto de los materiales de la cubierta. Fuente EPDs productos: epddanmark. (2021). *EPD three bitumen membranes*. (Código:MD-22069-EN).

EPD International. (2016). *Declaración Ambiental de Producto de la plancha de Aislamiento Térmico de espuma de Poliuretano Extruido (XPS) Danopen*. (Código EPD:S-P-00501).

DAPHabitat System. (2017). *Declaración Ambiental de Producto de Árido ligero de Arcilla Expandida Arlita*. (Código EPD:00000628).

DAPcons. (2019). *Lámina asfáltica impermeabilizante media*. (Código DAPcons®.100.013).

Global EPD y AENOR. (2019). *Declaración Ambiental de Recubrimientos Cerámicos Españoles*. (Código GlobalEPD: 002-042).

EPD International. (2023). *Declaración Ambiental de Geotextiles de poliéster*. (Código EPD:S-P-01897).

Global EPD y AENOR. (2018). *Declaración Ambiental de Morteros de relleno*. (Código GlobalEPD: 006-005 rev. 2).

Tabla 28. Tabla resumen impacto total de los materiales de la cubierta. Elaboración propia.

Tabla 29. Tabla impactos ambientales de 1m³ de madera de castaño.

Global EPD (2020). *Declaración Ambiental de Producto genérica de madera laminada encolada de castaño con tratamiento superficial*.

Tabla 30. Tabla uso de recursos de 1m³ de madera de castaño.

Global EPD (2020). *Declaración Ambiental de Producto genérica de madera laminada encolada de castaño con tratamiento superficial*.

- Tabla 31.** Tabla impactos ambientales de 1m³ de madera de pino silvestre.
Global EPD (2020). *Declaración Ambiental de Producto genérica de madera aserrada estructural de pino silvestre con tratamiento superficial.*
- Tabla 32.** Tabla uso de recursos de 1m³ de madera de pino silvestre.
Global EPD (2020). *Declaración Ambiental de Producto genérica de madera aserrada estructural de pino silvestre con tratamiento superficial.*
- Tabla 33.** Tabla de propiedades físicas y mecánicas de CLT de clase C24.
Egoin (2019) *Prontuario Técnico para la Construcción con Paneles de Madera Contralaminados EGO-CLT.*
- Tabla 34.** Tabla de propiedades físicas y mecánicas de CLT de clase C40.
Egoin (2019) *Prontuario Técnico para la Construcción con Paneles de Madera Contralaminados EGO-CLT.*
- Tabla 35.** Tabla impactos ambientales de 1m³ de CLT.
EPD International. (2018). *Declaración Ambiental de Panel contralaminado de madera EGO-CLT.* (Código: SP01314)
- Tabla 36.** Tabla uso de recursos de 1m³ de CLT.
EPD International. (2018). *Declaración Ambiental de Panel contralaminado de madera EGO-CLT.* (Código: SP01314)
- Tabla 37.** Tabla uso de recursos de 1m³ de CLT Stora.
EPD International. (2020). *Environmental Product Declaration CLT (Cross Laminated Timber) by Stora Enso.* (Código: S-P-02033)
- Tabla 38.** Propiedades paneles de corcho.
DAPHabitat System. (2017). *Environmental Product Declaration Insulation Cork Board (ICB).* (Código: 00000336).
- Tabla 39.** Tabla impactos ambientales de 1m³ de aislamiento de corcho.
DAPHabitat System. (2017). *Environmental Product Declaration Insulation Cork Board (ICB).* (Código: 00000336).
- Tabla 40.** Tabla uso de recursos de 1m³ de aislamiento de corcho.
DAPHabitat System. (2017). *Environmental Product Declaration Insulation Cork Board (ICB).* (Código: 00000336).
- Tabla 41.** Propiedades paneles de fibra de madera.
Institut Bauen und Umwelt e.V.I. (IBU) (2016). *Environmental Product Declaration Wood fibre insulation materials STEICO SE.* (Código EPD: EPD-STE-20150327-IBD1-EN).
- Tabla 42.** Tabla impactos ambientales de 1m³ de aislamiento de fibra de madera.
Institut Bauen und Umwelt e.V.I. (IBU) (2016). *Environmental Product Declaration Wood fibre insulation materials STEICO SE.* (Código EPD: EPD-STE-20150327-IBD1-EN).
- Tabla 43.** Tabla uso de recursos de 1m³ de aislamiento de fibra de madera.
Institut Bauen und Umwelt e.V.I. (IBU) (2016). *Environmental Product Declaration Wood fibre insulation materials STEICO SE.* (Código EPD: EPD-STE-20150327-IBD1-EN).
- Tabla 44.** Tabla volúmenes de hormigón utilizados en la cimentación. Elaboración propia.
- Tabla 45.** Tabla volúmenes de hormigón utilizados en la estructura horizontal. Elaboración propia.
- Tabla 46.** Tabla volúmenes de hormigón utilizados en la estructura vertical. Elaboración propia.
- Tabla 47.** Tabla volúmenes de CLT utilizados en la estructura horizontal. Elaboración propia.

- Tabla 48.** Tabla volúmenes de madera y aislamiento utilizados en la estructura horizontal. Elaboración propia.
- Tabla 49.** Tabla volúmenes de CLT utilizados en la estructura vertical. Elaboración propia.
- Tabla 50.** Tabla volúmenes de madera y aislamiento utilizados en la estructura vertical. Elaboración propia.
- Tabla 51.** Tabla resumen impacto total de los materiales de la estructura. Elaboración propia.
- Tabla 52.** Tabla capas fachada exterior b. biológica. Elaboración propia.
- Tabla 53.** Tabla capas fachada exterior PB base biológica. Elaboración propia.
- Tabla 54.** Tabla resumen de las superficies de materiales de las fachadas. Elaboración propia.
- Tabla 55.** Tabla resumen impacto total de los materiales de las fachadas. Elaboración propia.
- Tabla 56.** Tabla capas tabiques separación con elementos comunes base biológica. Elaboración propia.
- Tabla 57.** Tabla capas tabiques de distribución interior base biológica. Elaboración propia.
- Tabla 58.** Tabla capas tabiques alicatados a una cara base biológica. Elaboración propia.
- Tabla 59.** Tabla capas tabiques alicatados a dos caras base biológica. Elaboración propia.
- Tabla 60.** Tabla capas tabiques trasteros original. Elaboración propia.
- Tabla 61.** Tabla resumen de las superficies de materiales de la tabiquería. Elaboración propia.
- Tabla 62.** Tabla resumen impacto total de los materiales de la tabiquería. Elaboración propia.
- Tabla 63.** Tabla capas tabiques separación de viviendas base biológica. Elaboración propia.
- Tabla 64.** Tabla capas cubierta tipo 1 y 2. Elaboración propia.
- Tabla 65.** Tabla capas cubierta tipo 3. Elaboración propia.
- Tabla 66.** Tabla resumen de las superficies de materiales de la cubierta. Elaboración propia.
- Tabla 67.** Tabla resumen impacto total de los materiales de la cubierta. Elaboración propia.

7. BIBLIOGRAFÍA

- AA.VV. (s.f.). *Construcción en madera y su impacto en los bosques*. House Habitat. https://www.househabitat.es/construccion-madera-impacto-los-bosques__trashed/
- AA.VV. (2022). *¿Cuál es el impacto de la contaminación de los coches para el medio ambiente?* Global Mobility Call. <http://www.ifema.es/global-mobility-call/noticias-sector/cual-es-el-impacto-de-la-contaminacion-de-los-coches-para-el-medio-ambiente>
- AA.VV.(s.f.). *Prefabricated Systems for Low Energy Renovation of Residential Buildings*, Energy in Buildings and Communities Programme (EBC) Annex 50.
- AENOR. (2010). *Etiquetas y declaraciones ambientales. Declaraciones ambientales tipo III. Principios y procedimientos*. (UNE-EN ISO 14025).
- AENOR. (2014). *Durabilidad de la madera y de los productos derivados de la madera Clases de uso: Definiciones, aplicación a la madera maciza y a los productos derivados de la madera* (UNE-EN 335).
- AENOR. (2012). *Madera estructura, clases resistentes y asignación de calidades visuales y especies*. (UNE-EN 1912).
- AENOR. (2017). *Productos de aislamiento térmico. Reglas de categoría de producto (RCP) para productos manufacturados y formados in-situ, destinadas a la elaboración de declaraciones ambientales de producto*. (EN 16783).
- AENOR. (2017). *Madera estructural. Clases resistentes*. (UNE-EN 338:2016).
- AENOR. (2020). *Sostenibilidad en la construcción. Declaraciones ambientales de producto. Reglas de categoría de producto básicas para productos de construcción*. (UNE-EN 15804).
- AENOR. (2023). *Sostenibilidad de las obras de construcción. Declaraciones ambientales de producto. Reglas de Categoría de Producto para hormigón y elementos de hormigón*. (UNE-EN 16757).
- Arehart et al. (2021). *Carbon sequestration and storage in the built environment*, Sustainable Production and Consumption 27 1047-1063. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2021.02.028>
- Bribián et al. (2011). *Life cycle assessment of building materials: Comparative analysis of energy and environmental impacts and evaluation of the eco-efficiency improvement potential*, Building and Environment 46 1133-1140. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2010.12.002>.
- Carabaño, R.(2017). *Life Cycle Assessment (LCA) of building materials for the evaluation of building sustainability: the case of thermal insulation materials*, Revista de la Construcción, v.16, n.1,22-32 www.redalyc.org/articulo.oa?id=127651042002
- Churkina, G., Organschi, A., Reyer, C.P.O. et al. (2020). *Buildings as a global carbon sink*. Nat Sustain 3, 269–276. <https://doi.org/10.1038/s41893-019-0462-4>
- CSCAE. (2020). *Cimentación con madera: Pilotes*. http://www.cscae.com/area_tecnica/aitim/actividades/act_paginas/libro/44%20Pilotes.pdf
- DAPHabitat System. (2017). *Declaración Ambiental de Producto de Árido ligero de Arcilla Expandida Arlita*. (Código EPD:00000628).

DAPHabitat System. (2017). *Environmental Product Declaration Insulation Cork Board (ICB)*. (Código EPD:00000336).

DAPcons. (2019). *Lámina asfáltica impermeabilizante media*. (Código DAPcons®.100.013).

Egoín (2019). *Prontuario Técnico para la Construcción con Paneles de Madera Contralaminados EGO CLT*

Ensamble tipo finger joint con WEINIG. (s.f.). Michael Weinig AG. <http://www.weinig.com/es/madera-maciza/procesos-de-mecanizado/ensamble-tipo-finger-joint.html>

EPD International. (2023). *Declaración Ambiental de Geotextiles de poliéster*. (Código EPD:S-P-01897).

EPD International. (2021). *Declaración Ambiental de Perfilera metálica High Stil*. (Código EPD:S-P-02251).

EPD International. (2020). *Declaración Ambiental de Aislamiento de Lana de Roca*. (Código EPD:S-P-01848).

EPD International. (2020). *Environmental Product Declaration CLT (Cross Laminated Timber) by Stora Enso*. (Código: S-P-02033)

EPD International. (2020). *Declaración Ambiental de Placa de Yeso Laminado*. (Código EPD:S-P-01598).

EPD International. (2018). *Declaración Ambiental de Panel contralaminado de madera EGO-CLT*. (Código EPD:S-P-01314)

EPD International. (2016). *Declaración Ambiental de Producto de la plancha de Aislamiento Térmico de espuma de Poliestireno Extruido (XPS) Danopren*. (Código EPD:S-P-00501).

epddanmark. (2021). *EPD three bitumen membranes*. (Código:MD-22069-EN).

Eurostat. (2016). Final energy consumption by sector. <http://ec.europa.eu/eurostat/web/products-datasets/-/tsdpc320>.

Global EPD y AENOR. (2022). *Declaraciones ambientales de producto de hormigones*. (Código GlobalEPD EN16757-002).

Global EPD y AENOR. (2020). *Declaración Ambiental de Yeso Aligerado de Aplicación Manual y Yeso Aligerado de Proyección Mecánica*. (Código GlobalEPD: 004-003).

Global EPD (2020). *Declaración Ambiental de Producto genérica de madera laminada encolada de castaño con tratamiento superficial*.

Global EPD (2020). *Declaración Ambiental de Producto genérica de madera aserrada estructural de pino silvestre con tratamiento superficial*.

Global EPD y AENOR. (2019). *Declaración Ambiental de Recubrimientos Cerámicos Españoles*. (Código GlobalEPD: 002-042).

Global EPD y AENOR. (2018). *Declaración Ambiental de Morteros para revoco y enlucido*. (Código GlobalEPD: 006-004 rev. 2).

Global EPD y AENOR. (2018). *Declaración Ambiental de Morteros para la colocación de baldosas cerámicas*. (Código GlobalEPD: 006-002 rev. 2).

- Global EPD y AENOR. (2018). *Declaración Ambiental de Morteros de relleno*. (Código GlobalEPD: 006-005 rev. 2).
- Global EPD y AENOR. (2017). *Declaración Ambiental de Ladrillos y bloques cerámicos para revestir. Pieza "P" según la Norma UNE-EN 771-1*. (Código GlobalEPD: 008-006).
- Global EPD y AENOR. (2018). *Declaración Ambiental de Morteros para impermeabilización*. (Código GlobalEPD: 006-007 rev. 2).
- Global EPD y AENOR. (2014). *Declaración Ambiental de Producto CEMENTO CEM I*. (Código GlobalEPD 003-001 Rev.4).
- Hammond, Geoffrey et al. (2011). *Embodied Carbon: The Inventory of Carbon and Energy (ICE)*, University of Bath y BSRIA.
- Hervás García, J. (2020). *Edificio de 9 viviendas y garaje en la calle San Antonio de Paterna* [Proyecto de ejecución]. Sanna Arquitectura.
- Hofer, Peter et al. (2007). *The CO2 Effects of the Swiss Forestry and Timber Industry*, Federal Office for the Environment (FOEN)
- IEA (2022). *Buildings*, IEA, Paris. www.iea.org/reports/buildings
- IEA (2020). *Emisiones del sector de los edificios alcanzaron nivel récord en 2019: informe de la ONU*, IEA, Nairobi. www.iea.org/reports/buildings
- Institut Bauen und Umwelt e.V. (IBU) (2016). *Environmental Product Declaration Wood fibre insulation materials STEICO SE*. (Código EPD: EPD-STE-20150327-IBD1-EN).
- Instituto para la diversificación y ahorro de energía (IDAE). (2020). *Consumos del Sector Residencial en España*. IDAE. https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_Documentacion_Basica_Residencial_Unido_c93da537.pdf
- Instituto para la diversificación y ahorro de energía (IDAE). (s.f.). *Consumo y emisiones de CO2*. IDAE. <https://coches.idae.es/consumo-de-carburante-y-emisiones>
- ISO. (2006) *Gestión ambiental — Análisis del ciclo de vida — Principios y marco de referencia* (ISO 14040:2006)
- ISO. (2017) *Sustainability in buildings and civil engineering works — Core rules for environmental product declarations of construction products and services* (ISO 21930:2017)
- Lumia, G. (2017). *Bio-based insulation materials: An opportunity for the renovation of European residential building stock*. Politecnico di Milano.
- Ministerio de Fomento, (2019) *Documento Básico Seguridad estructural Madera, DBSE-M*, Gobierno de España.
- Morelli, S. (2022). *The challenge of shifting towards bio-based design, application of a parametric carbon footprint assessment for the refurbishment and expansion of residential buildings in Zurich*. Politecnico di Milano.
- Naciones Unidas (ONU) (2015). *Acuerdo de París de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático* (UNFCCC), 12 Diciembre 2015.

Naciones Unidas (ONU) (2015). *17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible*, 25 Septiembre 2015.

Naciones Unidas (ONU) (1997). *Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*, (UNFCCC), 11 Diciembre 1997.

Noriega Bravo, A. B. (2022). *La madera certificada, la solución para afrontar los retos de la construcción sostenible*. GBCe | Green Building Council España - GBCe. <http://www.gbce.es/blog/2022/10/24/la-madera-certificada-la-solucion-para-afrontar-los-retos-de-la-construccion-sostenible/>

PEFC España (2021). *PEFC España - Certificación Forestal Sostenible*. <https://www.pefc.es/>

PE International. (2013). *Environmental Product Declaration Timber Frame-Open Panel System*.

Pittau, Francesco et al. (2019). *Retrofit as a carbon sink: The carbon storage potentials of the EU housing stock*, Journal of Cleaner Production, Volume 214, 365-376. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.12.304>

Real Decreto 2429/1979 de 1979. *Por el que se aprueba la norma básica de edificación NBE-CT-79, sobre condiciones térmicas en los edificios*. 22 de octubre de 1979. BOE. No. 253. <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-1979-24866>

Sánchez, M. (2021). *Las diez claves para dominar el diseño de edificios de CLT*. Madera y Construcción. <https://maderayconstruccion.com/las-diez-claves-para-dominar-el-diseno-de-edificios-de-clt/>

Serrano-Lanzarote, Begoña et al. (2016). *Strategy for the energy renovation of the housing stock in Comunitat Valenciana (Spain)*, Energy and Buildings, V. 132, 117-129. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.06.087>.

Tighnavard Balasbaneh, B. et al. (2021). *Comparative sustainability evaluation of two engineered wood-based construction materials: Life cycle analysis of CLT versus GLT*, Building and Environment, V. 204. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108112>.

UN Environment Programme. (2022). *Global status report for buildings and construction (buildings-gsr)*. Globalabc. <http://www.globalabc.org/our-work/tracking-progress-global-status-report>

Venkatarama Reddy, B.V. (2009). *Sustainable materials for low carbon buildings*, International Journal of Low-Carbon Technologies, Volume 4, Issue 3, Pages 175–181, <https://doi.org/10.1093/ijlct/ctp025>

Yadav, Madhura et al. (2021). *Biobased building materials for sustainable future: An overview*, Volume 5, Pages 2895-2902, <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.01.165>.

Zabalza Bribián, Ignacio et al. (2011). *Life cycle assessment of building materials: Comparative analysis of energy and environmental impacts and evaluation of the eco-efficiency improvement potential*, Energy and Buildings, Volume 46, 1133-1140. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2010.12.002>

