

## Trabajo Fin de Grado

Análisis de viabilidad de la rehabilitación energética  
con materiales naturales y de  
proximidad en el medio rural: caso de estudio en el  
Campo de Borja

Feasibility analysis of energy renovation with  
natural and local materials in rural  
areas: a case study in the Campo de Borja region

Autor/es

Elena Tabuenca Azcona

Directora

Marta Gómez Gil

Titulación del autor

Grado en Estudios en Arquitectura

ESCUELA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

2024



## DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y ORIGINALIDAD

(Este documento debe remitirse a [seceina@unizar.es](mailto:seceina@unizar.es) dentro del plazo de depósito)

D./D<sup>a</sup>.

en aplicación de lo dispuesto en el art. 14 (Derechos de autor) del Acuerdo de 11 de septiembre de 2014, del Consejo de Gobierno, por el que se aprueba el Reglamento de los TFG y TFM de la Universidad de Zaragoza,

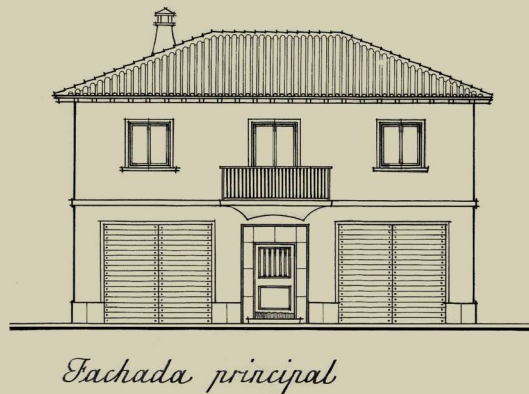
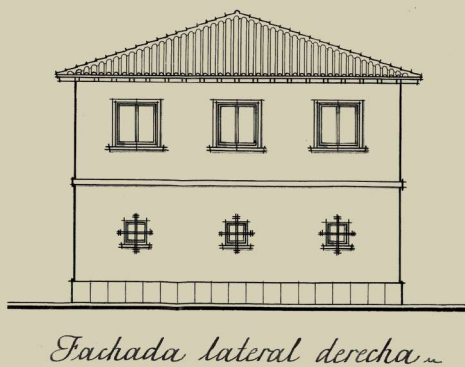
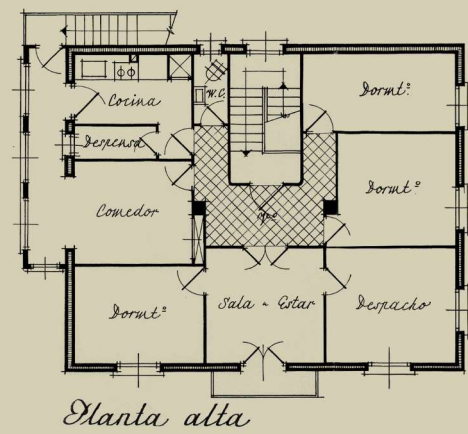
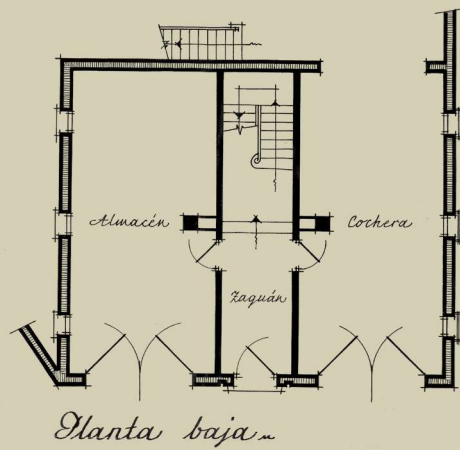
Declaro que el presente Trabajo de Fin de Estudios de la titulación de Grado en estudios en Arquitectura (Título del Trabajo)

Análisis de viabilidad de la rehabilitación energética con materiales naturales y de proximidad en el medio rural: caso de estudio en el Campo de Borja.

es de mi autoría y es original, no habiéndose utilizado fuente sin ser citada debidamente.

Zaragoza, a 25 de junio de 2024

Fdo: Elena Tabuenca Azcona



## ANÁLISIS DE VIABILIDAD DE LA REHABILITACIÓN ENERGÉTICA CON MATERIALES NATURALES Y DE PROXIMIDAD EN EL MEDIO RURAL: CASO DE ESTUDIO EN EL CAMPO DE BORJA

Elena Tabuenca Azcona, junio 2024

## **AGRADECIMIENTOS:**

En especial a Marta Gómez por su ayuda, tiempo y dedicación.

A Pedro Bel por sus comentarios y experiencia aportada sobre el empleo de materiales naturales.

A Ricardo Mateus y Jorge Fernandes, ambos pertenecientes al grupo de investigación ISISE, ARISE, del Departamento de Ingeniería Civil de la Universidade do Minho, en Portugal, por enseñarme y facilitarme su Metodología para la Evaluación Relativa de la Sostenibilidad de Soluciones Constructivas (MARS-SC).

A Carlos Beltrán por facilitarme información sobre el municipio de Maleján.

A Sergio por su apoyo.



# ÍNDICE

---

|  |    |
|--|----|
| <b>RESUMEN</b> .....   | 2  |
| <b>1. INTRODUCCIÓN, MOTIVACIÓN Y OBJETIVOS</b> .....   | 3  |
| <b>2. METODOLOGÍA</b> .....  | 5  |
| <b>3. LA REHABILITACIÓN ENERGÉTICA CON MATERIALES CON NATURALES Y DE PROXIMIDAD</b> .....        | 6  |
| 3.1. MATERIALES NATURALES Y LOCALES EN LA CONSTRUCCIÓN.....                                      | 6  |
| 3.2. ESTUDIO DE REFERENTES DE CONSTRUCCIÓN Y REHABILITACIÓN ENERGÉTICA CON MATERIALES KM. 0..... | 15 |
| 3.2.1. Construcción Casa Tapial en Ayerbe .....  | 15 |
| 3.2.2. Rehabilitación de Can Buch en Sant Aniol de Finestres .....                               | 16 |
| 3.2.3. Reforma de Vivienda Ecológica en el entorno urbano .....                                  | 17 |
| <b>4. IDENTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DEL EDIFICIO CASO DE ESTUDIO</b> .....                    | 19 |
| 4.1. ORIGEN, CARACTERÍSTICAS Y URBANISMO DEL MUNICIPIO.....                                      | 19 |
| 4.2. IDENTIFICACIÓN DE VIVIENDA TIPO Y CARACTERIZACIÓN.....                                      | 23 |
| 4.3. VIVIENDA CASO DE ESTUDIO .....  | 24 |
| 4.3.1. Estudio de patologías de la vivienda .....  | 36 |
| 4.3.2. Estudio energético de la vivienda .....   | 38 |
| <b>5. PROPUESTA DE INTERVENCIÓN</b> .....  | 39 |
| 5.1 RESOLUCIÓN DE PATOLOGÍAS IDENTIFICADAS .....   | 39 |
| 5.2. MEJORA ENERGÉTICA DE LA VIVIENDA.....   | 44 |
| 5.2.1 Propuesta de rehabilitación energética con materiales naturales y de proximidad .....      | 47 |
| 5.2.2. Propuesta de rehabilitación energética convencional.....                                  | 50 |
| <b>6. COMPARACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL DE LOS ESCENARIOS DE REHABILITACIÓN</b> .....            | 51 |
| 6.1. CICLO DE VIDA DE LAS PROPUESTAS DE REHABILITACIÓN ENERGÉTICA.....                           | 51 |
| 6.1.1. Consideraciones del análisis del ciclo de vida .....                                      | 51 |
| 6.1.2. Herramienta utilizada para el análisis del ciclo de vida .....                            | 53 |
| 6.1.3. Datos utilizados para el análisis del ciclo de vida .....                                 | 54 |
| 6.2. COMPORTAMIENTO ENERGÉTICO DE LAS PROPUESTAS DE REHABILITACIÓN ENERGÉTICA.....               | 64 |
| <b>7. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS Y EXTRAPOLACIÓN</b> .....                            | 67 |
| <b>8. CONCLUSIONES</b> .....   | 69 |
| <b>9. REFERENCIAS</b> .....  | 70 |
| <b>10. ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....   | 73 |
| <b>11. ÍNDICE DE TABLAS</b> .....  | 76 |
| <b>12. ANEXOS</b> .....  | 78 |

En el entorno rural, ante la necesidad de encontrar soluciones para la rehabilitación energética de las viviendas, las cuales tienen un consumo energético medio mayor al de las viviendas urbanas, se proponen dos enfoques para rehabilitar una vivienda situada en el municipio de Maleján, en la Comarca Campo de Borja. Por un lado, se plantea una rehabilitación energética convencional sin contemplar el ciclo de vida de los materiales utilizados y por otro, una rehabilitación energética utilizando materiales naturales y de proximidad. Se lleva a cabo una evaluación y comparación de los impactos ambientales de ambas propuestas, analizando el ciclo de vida de las soluciones propuestas y el comportamiento energético del edificio antes y después de la rehabilitación. Los resultados muestran que los ahorros energéticos y de emisiones conseguidos a través de la rehabilitación energética en cualquiera de los dos casos son más significativos que la reducción de los impactos ambientales conseguidos al utilizar una solución basada en el uso de materiales naturales y de proximidad frente a una que no contemple el ciclo de vida de los materiales.

### ABSTRACT:

In rural environments, where there is a need to find solutions for the energy renovation of homes that typically have higher average energy consumption than urban homes, two approaches are proposed to renovate a home located in the municipality of Maleján, in the Campo de Borja region. One approach involves conventional energy renovation without considering the life cycle of the components, while the other involves energy refurbishment using natural and local materials. An evaluation and comparison of the environmental impacts of both proposals is carried out, analyzing the life cycle of the proposed solutions and the energy behavior of the building before and after renovation. The results show that the energy and emissions savings achieved through energy refurbishment in either case are more significant than the reduction in environmental impacts achieved by using a solution based on natural and local materials compared to one that does not consider the life cycle of the materials.

# 1. INTRODUCCIÓN, MOTIVACIÓN Y OBJETIVOS

En muchas zonas rurales, principalmente en pequeños municipios, se ha producido un abandono y progresivo deterioro del parque residencial existente. Esto se debe al envejecimiento progresivo de la población, a la carencia de vivienda en buen estado, o a la falta de vivienda en régimen de alquiler <sup>1</sup>.

Pero este no es el único problema relacionado con los edificios y las viviendas, ya que en el conjunto de Europa, según la Comisión Europea (CE), los edificios son responsables de en torno al 40% de nuestro consumo de energía y del 36 % de las emisiones de gases de efecto invernadero<sup>2</sup>. En el caso español, ese porcentaje de emisiones llega hasta el 40%, pese a que el consumo energético es del 30%. El 95% de las viviendas existentes en España se construyeron antes de 2007, año en el que se introdujo el Código Técnico de la Edificación (CTE), que planteó importantes mejoras en cuanto a la eficiencia energética de la edificación <sup>3</sup>.

En el ámbito rural, al deterioro de los edificios residenciales se suma el hecho de que el consumo energético medio de la vivienda rural por m<sup>2</sup> (240,6 kW·h/m<sup>2</sup>·año) es un 23,6% superior al de la vivienda urbana (194,6 kW·h/m<sup>2</sup>·año), según los certificados de eficiencia energética (CEE) emitidos en

España. Además, cuanto menor es el municipio en el que se encuentra la vivienda, mayores son los consumos <sup>4</sup>.

Por ello, intervenir en el parque residencial de los pueblos debe ser una prioridad para garantizar la disponibilidad de viviendas dignas, eficientes y asequibles en los núcleos rurales, aprovechando las edificaciones ya existentes, y dotándolas de la calidad suficiente para poder resultar atractivas.

Además, la mayor parte de estudios de diagnóstico del parque edificado construido a nivel nacional se centran en las zonas urbanas o en la totalidad del parque, sin que se defina de forma clara cuáles son las características específicas del parque edificatorio en el medio rural <sup>2</sup>. Es, precisamente, a esta fracción a la que este trabajo quiere dar una mayor visibilidad y soluciones, ya que, como se ha comentado previamente, el parque de viviendas en el ámbito rural, a pesar de contar con características históricas, urbanas y arquitectónicas que es preciso conservar, está muy envejecido y obsoleto en materia energética.

A la hora de plantear esas intervenciones de mejora del parque residencial rural, no podemos obviar la actual situación de crisis ambiental, así como y la sobreexplotación de

---

<sup>1</sup> Web oficial Ecodes. (2024). *Rehabilitación y reto demográfico*. <https://ecodes.org/hacemos/energia-y-personas/rehabilitacion-energetica-de-viviendas/rehabilitacion-y-reto-demografico-propuestas-para-la-rehabilitacion-residencial-en-el-medio-rural>

<sup>2</sup> DIRECTIVA (UE) 2024/1275 DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 24 de abril de 2024 relativa a la eficiencia energética de los edificios (refundición). [https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=OJ:L\\_202401275&pk\\_keyword=Energy&pk\\_content=Directive](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=OJ:L_202401275&pk_keyword=Energy&pk_content=Directive)

<sup>3</sup> Web oficial Ecodes. (2024). *Hacia una Europa saludable y renovada*. <https://ecodes.org/hacemos/energia-y-personas/rehabilitacion-energetica-de-viviendas/hacia-una-europa-saludable-y-renovada-edificios-rehabilitados>

<sup>4</sup> Beltrán Velamazán, C., Monzón Chavarrias, M. y López Mesa, B. (2022). A1. Clasificación y caracterización del parque habitacional en zonas rurales. En B. López Mesa, C. Foronda Díez y J. Tobías González (Coord.), *RuralIREGEN: Estudio sobre el estado de la rehabilitación energética de viviendas en el ámbito rural en España: diagnóstico, barreras y soluciones*.

los recursos naturales y la pérdida de biodiversidad que enfrentamos. Por ello, es fundamental el estudio de soluciones que contribuyan a reducir el impacto ambiental, que contribuyan a la lucha contra el cambio climático y que ayuden a la reducción de la huella ecológica generada por los edificios durante la fase de producción de los productos de construcción, la fase de rehabilitación, así como en su fase de uso y mantenimiento y su fin de vida.

Dentro de estas soluciones se enmarca el uso de materiales naturales y de Km. 0 o proximidad. La rehabilitación energética con materiales naturales y de proximidad presenta numerosas ventajas desde el punto de vista de la sostenibilidad y la circularidad, puesto que los materiales de este tipo cuentan con una menor energía embebida, reducen la extracción de recursos naturales y la generación de residuos, ayudando con ello a promover una economía más circular y descarbonizada.

Además, es necesario poner en valor técnicas y materiales tradicionales que se adaptan al lugar y se siguen conservando sobre todo en el medio rural, pero necesitan evolucionar para la mejora de la eficiencia energética y así adaptarse a la normativa vigente.

Por ello, este trabajo tiene los objetivos de:

- Estudiar si es factible llevar a cabo la rehabilitación energética de una vivienda en el medio rural utilizando únicamente materiales naturales y de proximidad.
- Cuantificar y comparar los impactos ambientales producidos por una rehabilitación energética que utiliza materiales naturales y de proximidad y

por otra sin perspectiva de ciclo de vida.

- Observar si la utilización de materiales naturales aporta peores resultados en la eficiencia energética de la vivienda durante la fase de uso.
- Entender qué supone todo esto a escala municipal.

Para alcanzar esos objetivos, en primer lugar, se ha definido un caso de estudio real. Se trata de una vivienda unifamiliar en el municipio de Maleján (Zaragoza), que debe ser rehabilitada energéticamente y que se detalla en el apartado 4 de este trabajo. Una vez definido el edificio, en el trabajo se han comparado los impactos ambientales durante todo el ciclo de vida de tres propuestas de rehabilitación que utilizan materiales naturales y locales con otra propuesta “al uso”, sin perspectiva de ciclo de vida. Para averiguar si las soluciones naturales y locales aportan peores prestaciones desde el punto de vista del comportamiento energético del edificio rehabilitado se ha elaborado además un CEE de la solución convencional y de la mejor de las soluciones naturales.

Ante los resultados obtenidos, se ha constatado que es factible y conveniente fomentar la rehabilitación energética en el medio rural con materiales naturales y de proximidad adaptados al lugar, ya que además de resultar de igual utilidad para mejorar el comportamiento energético de los edificios, presentan unos impactos ambientales inferiores durante todo su ciclo de vida, por lo que permiten contribuir a la descarbonización de la actividad de la construcción, promover la economía circular y luchar contra la pobreza energética.

## 2. METODOLOGÍA

---

La metodología utilizada en este trabajo se compone de los siguientes puntos:

- a. En primer lugar, se investiga qué se entiende por materiales naturales y de proximidad a través del estudio de literatura científica y se realiza un inventario de este tipo de materiales.
- b. A continuación, se identifican y estudian proyectos reales de rehabilitación y edificación basados en el empleo de materiales naturales y de km. 0 que sirven como inspiración y fuente de aprendizaje.
- c. Para la realización de este trabajo se necesitaba un caso de estudio real. Por ello, en esta fase se define un caso concreto, que estará ubicado en el municipio de Maleján, Zaragoza, que es el pueblo de procedencia de la autora. Identificado el municipio de estudio, este se analiza con el objetivo de identificar sus problemáticas principales y sus tipologías edificadas predominantes, hasta encontrar un edificio concreto –una vivienda unifamiliar- que es característica del municipio y sirve como caso de estudio.
- d. A continuación, la vivienda caso de estudio es caracterizada y analizada constructiva y energéticamente.
- e. Se realizan propuestas para la rehabilitación de la vivienda. En primer lugar, se considera la resolución de las patologías identificadas. En segundo lugar, se proponen escenarios de rehabilitación energética. Para ello, en primer lugar, se establecen unos criterios generales para la intervención. A partir de ahí, se plantea un escenario que únicamente utiliza materiales naturales y de proximidad y otro sin perspectiva de ciclo de vida.
- f. A continuación, los impactos del ciclo de vida de ambas soluciones de rehabilitación energética son analizadas utilizando la metodología MARS-SC. Para ello, además de las dos soluciones principales, se estudian dos soluciones intermedias, puesto que la metodología aplicada así lo requiere.
- g. Realizado este análisis y con el objetivo de tener una visión del ciclo de vida completo del edificio, se analiza el comportamiento energético de la fase de uso alcanzado con la rehabilitación mediante las dos soluciones principales. Para ello se simula el certificado de eficiencia energética utilizando la herramienta CE3X.
- h. Finalmente, se analizan los resultados obtenidos y se hace una pequeña extrapolación a la totalidad del municipio de Maleján.

### 3. LA REHABILITACIÓN ENERGÉTICA CON MATERIALES NATURALES Y DE PROXIMIDAD

Este apartado tiene el objetivo de clarificar qué es la rehabilitación energética con materiales sostenibles y locales. Para ello, se comienza caracterizando qué son estos materiales naturales y locales y cómo pueden

aplicarse a este tipo de intervención. Posteriormente, se identifican y analizan algunas rehabilitaciones de referencia que utilizan este tipo de materiales.

#### 3.1. MATERIALES NATURALES Y LOCALES EN LA CONSTRUCCIÓN

El medio rural es una fuente de sabiduría en lo referido al diseño ecológico y a la construcción con materiales naturales <sup>5</sup>. En los pueblos, los edificios han sido tradicionalmente contruidos utilizando aquellos materiales que los habitantes tenían a su disposición en sus alrededores, es decir, **materiales locales o km. 0** <sup>6</sup>. Además, estos materiales eran generalmente **materiales naturales**. Estos materiales, además de ser accesibles para la población, también presentaban extraordinarias propiedades para adaptarse a los requerimientos de la construcción en el medio local y su aplicación no era muy compleja, por lo que habitualmente no requería de mano de obra especializada.

Concretamente, podemos definir como materiales de construcción naturales aquellos que provienen directamente de la naturaleza y requieren poco procesamiento para ser utilizados en la construcción. Estos materiales tienen la ventaja de causar un menor perjuicio al medio ambiente que los materiales industrializados, así como de tener un origen

renovable y de presentar altas posibilidades para su reciclado <sup>7</sup>.

Por otra parte, definimos como materiales locales o de km. 0 a aquellos materiales que se obtienen y utilizan cerca del lugar de construcción. No se ha encontrado en la literatura una distancia máxima para definir un material como local, por lo que, en este trabajo, consideraremos como materiales locales aquellos cuya obtención se produce a una distancia inferior a los 200 km.

Para la rehabilitación energética propuesta en este trabajo se ha decidido utilizar materiales que preferiblemente sean de origen natural, estén disponibles localmente, cumplan con los requisitos necesarios por la normativa de aplicación y exista mano de obra capaz de implementar el sistema.

A continuación, se hace un listado de posibles materiales que se podrían utilizar para la rehabilitación energética y la distancia de su fabricación o extracción respecto de la Comarca del Campo de Borja (provincia de Zaragoza), en la que se ubica el caso de estudio que se detallará más adelante.

<sup>5</sup> Li, E.; Zhu, J. (2021) *Parametric analysis of the mechanism of creating indoor thermal environment in traditional houses in Lhasa*. *Build. Environ.*

<sup>6</sup> Stanimirovic, M.; Vasov, M.; Mancic, M.; Rancev, B.; Medenica, M. (2023) *Sustainable Vernacular Architecture: The Renovation of a Traditional House on*

*Stara Planina Mountain in Serbia*. *Buildings*. <https://doi.org/10.3390/buildings13041093>

<sup>7</sup> Alavedra P. Domínguez J. Gonzalo E. (1997) *La Construcción Sostenible. El estado de la cuestión*. Consejo Superior de Investigaciones Científicas.

## 1. Materiales aislantes:

En primer lugar, al tratarse de una rehabilitación de carácter energético, se ha comenzado por buscar materiales aislantes (Tabla 1), que tendrán un papel muy relevante dentro de la intervención y que también condicionarán el resto de materiales que vayan a utilizarse.

**Tabla 1.** Sumario de materiales aislantes de origen natural. Fuente: elaboración propia con datos de fabricantes y Catalogo de elementos constructivos del CTE.

| <b>Materiales</b>  | <b>Conductividad<br/>térmica</b><br>$\lambda$ (W / m·K) | <b>Distancia<br/>fabricación</b><br>(km) | <b>Espesor mínimo<br/>aislamiento muros*</b><br>(cm) |
|--|---|--|--|
| Paneles de fibra de madera de pino (Madera Pinosoria)                  | 0,038   | 125                                      | 7  |
| Paneles aislantes semirrígidos de madera (Steico- Francia)             | 0,036   | 450                                      | 7  |
| Corcho proyectado (Vipeq – suministro Amorim Cork Composites Portugal) | 0,058   | 750                                      | 8  |
| Panel de corcho (Vipeq – suministro Amorim Cork Composites Portugal)   | 0,04  | 750                                      | 8  |
| Corcho granulado (Vipeq – suministro Amorim Cork Composites Portugal)  | 0,04  | 750                                      | 8  |
| Paja (Red de construcción con paja)                                    | 0'045   | 0  | 9  |
| Lana de oveja (Wool4build - Valencia)                                  | 0,036   | 406                                      | 7  |
| Celulosa proyectada (Aislanat)   | 0,04  | 140                                      | 8  |
| Panel fibra textil reciclada (Geopannel)                               | 0,034   | 136                                      | 7  |

\*Espesor mínimo de aislamiento necesario en muros con una transmitancia  $U = 1,72$  W/m<sup>2</sup>K del muro actual requerido en el CTE HE, Tabla 3.1.1.a - HE1 Valores límite de transmitancia térmica para la zona climática D3 ( $U \leq 0,41$  W/m<sup>2</sup>K)



Se complementa la información detallada en la tabla 1 con una descripción de cada material aislante, destacando características y aspectos relevantes de cada uno de ellos.

**a) Panel de fibra de madera de pino:** Es un buen aislante, ya que presenta una buena conductividad térmica, tiene una alta transpirabilidad debido a que las fibras que lo componen forman una estructura porosa que permite que el vapor del agua se encuentre en difusión, posee además una buena capacidad de regular la humedad, ya que es un material higroscópico.<sup>8</sup>



Fig. 1. Panel de fibra de madera.  
Fuente: <https://maderapinosoria.com/>

**b) Panel aislante semirrígido de madera:** Posee un calor específico elevado y una baja conductividad térmica, lo que le confiere una capacidad de aislamiento muy buena. Se fabrica con fibra de madera obtenida por desfibrado de virutas de madera se seca y después se mezcla con un ligante textil termofusible que le aporta cohesión al panel. Puede utilizarse para aislamiento de

cubiertas, paredes y suelos. Son también buenos aislantes acústicos.<sup>9</sup>



Fig. 2. Panel semirrígido de madera.  
Fuente: <https://www.steico.com/es/>

**c) Corcho proyectado:** Material con prestaciones térmicas y acústicas, transpirabilidad, permeable al vapor de agua y flexible. Puede utilizarse para decoración de fachadas y techos, se adhiere a casi la totalidad de los materiales de construcción. Se trata de una mezcla de partículas de corcho seleccionadas, con diferentes tipos de resinas en base agua, cargas minerales, estabilizantes y aditivos especiales.<sup>10</sup>



Fig. 3. Corcho proyectado.  
Fuente: <https://www.vipeq.es/>

<sup>8</sup> Madera Pinosoria. (2021). *Aislantes naturales de madera de pino*. <https://maderapinosoria.com/aislantes-naturales-de-madera-de-pino/>

<sup>9</sup> Steico. (2024). <https://www.steico.com/es/>

<sup>10</sup> Vipeq. (2024). <https://www.vipeq.es/>



**d) Panel de corcho:** Aislamiento natural térmico, acústico y transpirable, que puede adherirse directamente al soporte o fijarse mecánicamente, pudiendo quedar visto en exterior e interior de los edificios o disponerse en el interior de cámaras. Su montaje e instalación es muy rápida. Puede utilizarse para aislamiento de cubiertas, paredes y suelos.<sup>11</sup>



Fig. 4. Panel de corcho.  
Fuente: <https://www.vipeq.es/>

**e) Corcho granulado:** Aislamiento obtenido sólo con gránulos de corcho natural, tiene prestaciones térmicas, acústicas, transpirables, es impermeable y no higroscópico. Se aplica insuflado o inyectado en cámaras de aire de fachadas, cerramientos, falsos techos y falsas de cubierta.<sup>12</sup>



Fig. 5. Corcho granulado.  
Fuente: <https://www.vipeq.es/>

**f) Paja:** Se trata de un material con una baja huella ecológica, siendo un residuo de la producción de cereales con un coste económico muy bajo. Tiene una buena capacidad aislante y es transpirable.<sup>13</sup>



Fig. 6. Paja.  
Fuente: <https://www.casasdepaja.org>

**g) Panel de lana de oveja:** Se obtiene como subproducto en la industria ganadera, posee altas prestaciones de aislamiento térmico y acústico.<sup>14</sup> El material está compuesto por fibras de

<sup>11</sup> Vipeq. (2024). <https://www.vipeq.es/>

<sup>12</sup> Vipeq. (2024). <https://www.vipeq.es/>

<sup>13</sup> Red de construcción con paja. (2024). <https://www.casasdepaja.org/>

<sup>14</sup> Wool4build. (2024). <https://www.wool4build.com/>

20 a 30 mm de largo, previamente lavadas. Durante el proceso de fabricación se decoloran y se les aplica un tratamiento contra insectos y hongos con permetrina (piretroide sintético) o sales de boro. También son tratadas para retrasar la acción del fuego<sup>15</sup>.



Fig. 7. Panel de lana de oveja.

Fuente: <https://www.wool4build.com/>

**h) Celulosa proyectada:** La celulosa es un aislante natural térmico y acústico para construcción realizado a partir de papel reciclado (85%). Posee propiedades ignífugas, antifúngicas y es transpirable. Tiene un coste económico bajo en relación a otros aislantes utilizados. Puede aplicarse insuflado en cámaras, proyectado en paredes y techos y soplado en bajo-cubiertas.<sup>16</sup>



Fig. 8. Celulosa para proyectar.

Fuente: <https://www.aislantesaislanat.es/>

**i) Panel fibra textil reciclada:** Panel aislante de altas prestaciones térmicas y acústicas con tratamiento ignífugo, con buen comportamiento frente al vapor de agua y resistencia a tracción y desgarrar. Está fabricado con fibras textiles recicladas (80%). Indicado para su colocación sobre cubierta entre rastreles, bajo cubierta, trasdosados de fachada, relleno de cámaras, sobre falso techo y en fachadas ventiladas.<sup>17</sup>



Fig. 9. Panel de fibra textil reciclada

Fuente: <https://geopannel.com>

<sup>15</sup> Wadel, G. (2020, 13 de octubre). Aislamientos térmicos renovables y reciclados de lana de ovaja y algodón. *Ecohabitar*. <https://ecohabitar.org/aislamientos-termicos-renovables-y-reciclados-de-lana-de-ovaja-y-algodon/>

<sup>16</sup> Aislanat, aislante de celulosa. (2024). <https://www.aislantesaislanat.es/>

<sup>17</sup> Geopannel. (2024). <https://geopannel.com/>

## 2. Otros materiales de construcción:

Tras haber identificado y analizado materiales para la función de aislamiento, en la Tabla 2 se presentan otros tipos de materiales que serán de utilidad en la rehabilitación energética.

**Tabla 2.** Sumario de otros materiales de construcción de origen natural. Fuente: elaboración propia con datos de fabricantes y Catalogo de elementos constructivos del CTE.

| Otros materiales construcción                          | Conductividad térmica<br>$\lambda$ (W / m·K) | Distancia<br>(km) |
|--|--|-------------------|
| Rollizos de madera procedentes de demolición           | 0,15   | 0                 |
| Madera de pino<br>(Madera Pinosoria, S.L.)             | 0,15   | 125               |
| Adobe  | 1,10   | 0                 |
| Bloques de tierra comprimida<br>(Bioterre)             | 0,5  | 281               |
| Mortero de cal<br>(Comercial e Industrial Aries, S.A.) | 0,8  | 117               |
| Yeso artesano<br>(Yesos de Tramacastilla)              | 0,50   | 200               |
| Placas de arcilla trasdosados<br>(Ecoclay)             | 0,18   | 194               |
| Paneles de fibra-yeso<br>(Fernacell Greenline)         | 0,32   | 350               |
| Placas de yeso laminado<br>(Pladur)                    | 0,25   | 120               |

Se complementa la información detallada en la tabla 2 con una descripción de cada material de construcción, destacando características y aspectos relevantes de cada uno de ellos.

- a) Rollizos de madera procedentes de demolición.** Producto reutilizado tras la demolición de una construcción y que proceden de elementos estructurales como forjados y cubiertas.



Fig. 10. Forjado de rollizos de madera a demoler en estado ruinoso. Fuente: Elaboración propia



**b) Madera de pino.** Ofrece una calidad y resistencia para ser empleada en estructuras, carpinterías, mobiliario y acabados. La madera es un material con una energía incorporada relativamente baja, sin emisiones tóxicas, duradero si se protege y reutilizable. Existen certificados de gestión forestal sostenible que certifican que la madera utilizada en construcción ha sido extraída y procesada de una forma respetuosa con el medio ambiente <sup>18</sup>.



Fig. 11. Madera de pino.  
Fuente: <https://maderapinosoria.com/>

**c) Adobe.** Son bloques en forma de ladrillo cuya composición es una mezcla de arena, arcilla y paja secada al sol<sup>19</sup>. Estos bloques de tierra comprimida se han empleado tradicionalmente hasta los años 50 del siglo XX en la zona de estudio, siendo un material de bajo coste y con una gran inercia térmica.



Fig. 12. Muro de bloques de adobe. Fuente: Elaboración propia

**d) Bloques de tierra comprimida (BTC).**

Son bloques macizos comprimidos por hiperpresión en prensa hidráulica de dimensiones 29.5x14.5x9 cms, fabricados con tierra con granulometría y composición preseleccionada, estabilizada con cemento, cal y adiciones puzolánicas naturales. Tiene características térmicas superiores al adobe o tapial, una alta inercia térmica y es transpirable. Es apto para paredes revestidas con revoque o yeso y para obra vista.<sup>20</sup>



Fig. 13. Bloques de tierra comprimida.  
Fuente: <https://bioterre.es/>

<sup>18</sup> Chig F. Shairo I. (2015) *Arquitectura Ecológica*. Editorial Gustavo Gili.

<sup>19</sup> Campelo J. Méndez L. Miñana J. (1979) *Adobe y energía solar*. Ediciones Síntesis.

<sup>20</sup> Bioterre. (2024). <https://bioterre.es/>

**e) Mortero de cal:** La componente del mortero debe ser cal apagada, antiguamente generalmente en pasta y actualmente en polvo. Tiene una buena plasticidad y trabajabilidad, no se retrae debido a la constancia de volumen bajo condiciones variables de humedad, es permeable al vapor de agua, permite que los muros respiren y evita condensaciones, no provoca eflorescencias debido a la ausencia de sales solubles, posee buena resistencia a la penetración del agua de lluvia, es un producto desinfectante, fungicida natural y es ignífugo.<sup>21</sup>



Fig. 14. Mortero de cal.  
Fuente: <https://ciaries.com/es/>

**f) Yeso artesano:** El mineral de yeso es una roca constituida por sulfato de calcio deshidratado mientras que el yeso utilizado como material de construcción, es un polvo formado por sulfato de calcio anhidro. El paso de materia prima a material de construcción consiste en extraer la roca, deshidratarla por calentamiento y posteriormente molerla.<sup>21</sup> Desde el S. XII hasta 1950, el yeso fue

habitualmente utilizado en estructuras de todo tipo (pilares, muros de carga, forjados, bóvedas...), en pavimentos y en revestimientos de fachadas. Los morteros de yeso artesano tienen una gran resistencia, empleándose en la actualidad para la restauración de edificios patrimoniales, en pavimentos de suelos interiores y en revestimientos de fachadas.



Fig. 15. Revestimiento de yeso artesano.  
Fuente: Elaboración propia.

**g) Placas de arcilla para trasdosado:** Se trata de placas compuestas por mortero de arcilla con fibras vegetales y malla de yute por ambas caras con tratamiento de silicato en la parte interior de la placa para prevenir la aparición de microorganismos. Entre sus propiedades destacan la regulación de la humedad relativa de la estancia, su permeabilidad al vapor de agua, su baja conductividad y alta inercia térmica. Además, favorece la neutralización de olores y partículas tóxicas en su estructura para generar ambientes limpios, es reciclable y un efectivo absorbente acústico.<sup>22</sup>

<sup>21</sup> Abarca M. Cambra S. Pardina J.A. Pawlowsky H. Rivas F.A (2011) *Buenas prácticas en la rehabilitación de la arquitectura rural tradicional*. Centro de Desarrollo del Somontano.

<sup>22</sup> Ecoclay revestimientos naturales. (2024).  
<https://ecoclay.es/>



Fig. 16. Placa de arcilla.  
Fuente: <https://ecoclay.es/>

**h) Paneles de fibra-yeso:** Panel homogéneo para construcción seca a base de yeso y fibras de papel, hidrofugado en fábrica. Con propiedades purificadoras del aire ambiental gracias al tratamiento en ambas caras mediante un complejo amino-biopolímero.<sup>23</sup>



Fig. 17. Planel de fibra-yeso  
<https://www.fermacell.es/es>

**i) Placas de yeso laminado:** Placa formada por un alma de yeso 100% natural íntimamente ligada a dos láminas de celulosa.<sup>24</sup>



Fig. 18. Placas de yeso laminado.  
Fuente: <https://www.pladur.com/es>

<sup>23</sup> Fermacell greenline. (2024).  
<https://www.fermacell.es/es>

<sup>24</sup> Pladur (2024). <https://www.pladur.com/es>



### 3.2. ESTUDIO DE REFERENTES DE CONSTRUCCIÓN Y REHABILITACIÓN ENERGÉTICA CON MATERIALES KM. 0

En esta sección se han recopilado varios casos de referencia de rehabilitaciones realizadas utilizando materiales locales y naturales. El análisis de estos casos ha sido de utilidad no únicamente por servir como inspiración, sino porque ha permitido descubrir materiales y técnicas constructivas que pueden ser de aplicación en la propuesta de rehabilitación del presente trabajo.

#### 3.2.1. Construcción Casa Tapial en Ayerbe

Se trata de una vivienda diseñada por la arquitecta Àngels Castellarnau del estudio Edra Arquitectura km 0 y construida en el municipio de Ayerbe (Huesca) en el año 2014.



Fig. 19. Vista exterior Casa Tapial. Fuente: <http://arquitectura.edraculturaynaturaynatura.com/>

Aunque se trata de una vivienda de nueva planta, es una buena referencia a tener en cuenta debido a que incorpora técnicas tradicionales de arquitectura incorporando además materiales locales.

La vivienda se ubica en un solar rectangular entre medianeras de edificios de tierra. Se abre un patio a sur que permite la captación solar pasiva a través de los grandes huecos, los lucernarios y los muros.

La vivienda se construye en tres plantas que se adaptan a los desniveles de las calles.

La construcción utiliza los materiales de su entorno, principalmente la tierra, y de forma complementaria la piedra arenisca, la madera y la caña. Estos materiales contienen una baja carga energética, se encuentran en el entorno

inmediato, son de fácil extracción y se ponen en obra sin procesar, de manera que su impacto ambiental es prácticamente nulo. Además, son saludables dado que no contienen aditivos ni en su composición ni en su puesta en obra.



Fig. 20. Vista interior Casa Tapial. Fuente: <http://arquitectura.edraculturaynaturaynatura.com/>

Se construye con la técnica de la “tapia calicostrada”, un sistema constructivo de tradición local que consiste en la construcción de muros de carga a base de tierra no

manufacturada Km0 al que se introducen mejoras técnicas como adicionar paja de cebada para mejorar su comportamiento térmico y la puesta en obra.

En las caras norte y oeste se practican sencillas aperturas a la manera tradicional para conseguir ventilación natural cruzada. Los huecos se protegen con porticotes de madera interiores para evitar pérdidas térmicas.

La vivienda cuenta con elementos de protección como aleros y persianas enrollables de madera.

La estructura se resuelve mediante una planta semienterrada construida en hormigón en masa (100% reciclable y de árido local) en la

que se alberga el garaje y el cuarto de calderas (con necesidades de protección frente al fuego).

Sobre un forjado de viguetas pretensadas de hormigón armado y bovedilla cerámica, arranca el muro perimetral de carga de 45 cm de espesor construido en tapia calicostrada con sendas costras de mortero de cal hidráulica contruidos de forma simultánea al levante de la tapia.

Los acabados interiores se resuelven mediante revocos de arcilla local y pavimentos de madera de pino. En la carpintería y las protecciones solares también se utiliza de madera de pino<sup>25</sup>.

### 3.2.2. Rehabilitación de Can Buch en Sant Aniol de Finestres

Se trata de la rehabilitación de una masía en ruinas en Sant Aniol de Finestres (Gerona) por el arquitecto Oriol Rosello del estudio Bangolo.

La masía constaba de un volumen principal y un granero. El granero se destinó para vivienda y la masía para hotel rural. Entre ambos volúmenes se proyectó un gran jardín con piscina y un cobertizo para herramientas y sala de máquinas.



Fig.21. Vista Can Buch. Fuente: <https://bangolo.com/>

Con la rehabilitación se pretendía recuperar las virtudes a escala territorial y social de la masía, más allá de sus características formales. Esto obligó a respetar los conceptos que estructuraban la estrategia, poniendo énfasis en:

1. Maximizar los materiales Km0: La piedra provenía de la ruina original, las gravas y arenas del cercano río Fluvià, el barro de la misma obra, los bloques de tierra comprimida del pueblo vecino de Les Planes y la cerámica del Baix Empordà. Se contó con madera de pino Douglas del Montseny y todo tipo de fibras vegetales de la comarca, evitando productos patentados y un exceso de embalajes.
2. Diseñar para y con los artesanos: Se contó desde un principio con los artesanos responsables de la ejecución de la obra.

<sup>25</sup> Web oficial del estudio EDRA Arquitectura km0. (2024). <http://arquitectura.edraculturaynaturaynatura.com/>





Fig. 22. Rehabilitación Can Buch. Fuente: <https://ecohabitar.org/can-buch-rehabilitacion-y-bioconstruccion/>

3. Recuperar el metabolismo autosuficiente: El reto del proyecto residía en conseguir una gestión del hotel que cerrara ciclos y la autosuficiencia mediante la gestión tradicional del paisaje. El ciclo térmico se solventó sin dependencia externa, el ciclo del agua combina el agua de pozo, la recolección de aguas pluviales, la fitodepuración y la potabilización con el fin de dotar a la finca de todos sus usos y la energía se produce con placas fotovoltaicas.

Los nuevos muros de la masía se levantaron con la piedra recuperada de la ruina, con

paredes de bloques de tierra comprimida, aislamiento de corcho y revoco interior de 8 cm a base de arcilla y fibras vegetales como el cáñamo, paja y cáscara de arroz.



Fig.23 Vista Can Buch. Fuente: <https://bangolo.com/>

Los forjados de la planta baja se realizaron con el sistema constructivo de la bóveda catalana.

Las carpinterías, zunchos y cubiertas se realizaron con madera maciza. La cubierta se solucionó con un entramado ligero, macizado con fibra de madera como aislamiento y un trasdosado inferior con lamas de madera a corte de sierra<sup>26</sup>.

### 3.2.3. Reforma de Vivienda Ecológica en el entorno urbano

Se trata de la reforma de una vivienda diseñada por el arquitecto Pedro Bel del estudio de Arquitectura de Entorno<sup>27</sup>.

Se trata de una reforma realizada en el entorno urbano, pero las estrategias de diseño y los materiales utilizados pueden aplicarse

<sup>26</sup> Roselló, O. (2024, 4 de enero). Can Buch, rehabilitación y bioconstrucción. *Ecohabitar*. <https://ecohabitar.org/can-buch-rehabilitacion-y-bioconstruccion/>

<sup>27</sup> Web oficial del estudio de Arquitectura de Entorno. (2024). <https://arquitecturadeentorno.com/>

más fácilmente en rehabilitaciones de viviendas en el medio rural.

En esta reforma, el promotor de la vivienda, también intervino como autoconstructor y estaba muy interesado por el empleo de materiales ecológicos.



Fig.24. Reforma vivienda ecológica. Fuente: <https://arquitecturadeentorno.com/>

Las estrategias de diseño consistieron en la colocación de radiadores de hierro forjado junto al muro de adobe para aprovechar la

inercia térmica, el estudio de las orientaciones y soleamiento en el piso reorganizando las estancias para aprovechar mejor las ventajas del soleamiento, incorporación de un toldo como elemento de sombreado en verano, cálculo y optimización de la masa necesaria para mantener la inercia térmica interior del piso, aislamiento de toda la envolvente perimetral (8 cm en fachada y 5 cm en el resto de la vivienda), sustitución de las carpinterías existentes por carpinterías estancas de madera, aplicación de revestimientos naturales sin pintar ni cerrar el poro para permitir que la vivienda mantenga un comportamiento higrotérmico activo.

Los materiales utilizados fueron la tierra para la elaboración manual de adobes en formato especial (8x8x25 cm), formulados con tierra de la cantera cercana y para su utilización como pavimento en el dormitorio de la vivienda. Se utilizó paja de trigo como fibra en el adobe y como material aislante en relleno de cámara (8 cm) entre cerramiento de fachada y el nuevo muro interior de adobes. Se realizó el forrado interior de todos los paramentos (paredes y techos) con paneles de fibras de madera ecológica de 5 cm de espesor para evitar los ruidos del exterior y mejorar el aislamiento con los vecinos. Se utilizó cal aérea en revestimientos interiores y con pigmentos naturales en paredes y techos. La madera utilizada en la vivienda fue suministrada directamente de aserradero y tratada en obra para asegurar la utilización del 100% de productos naturales y transpirables. En el suelo de la cocina, baño y sala de estar de la vivienda se aplicó una capa de yeso cocido de forma artesanal en un horno tradicional de Teruel al que se aplicaron aceites y pigmentos naturales como acabado final en paramentos y suelos para otorgar mayor estabilidad a los materiales.

## 4. IDENTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DEL EDIFICIO CASO DE ESTUDIO

Como se ha comentado a lo largo del documento, para realizar el estudio objeto de este trabajo se va a utilizar un caso de estudio real.

Para ello, se decidió trabajar en el municipio de Maleján.

Se selecciona este municipio debido a que es la localidad de origen de la autora, por lo que conoce perfectamente las características, necesidades y posibilidades que ofrece. Además, el municipio es representativo de la realidad rural de la Comunidad Autónoma de Aragón, ya que se encuadra dentro del 74% de los municipios aragoneses con menos de 500 habitantes <sup>28</sup>.

Una vez definido el municipio en el que se iba a trabajar, se comenzó por caracterizarlo.

Esto se debe, por un lado, a la necesidad de profundizar en mayor medida en las características específicas de la edificación del medio rural, sus tipologías, su comportamiento energético, y su problemática. Y, por otro lado, a la necesidad de obtener más datos de escala municipal ya que, como se ha comentado previamente, este trabajo pretende trascender la escala de edificio a través de la extrapolación de los resultados obtenidos a escalas mayores, con especial interés en la escala municipal.

### 4.1. ORIGEN, CARACTERÍSTICAS Y URBANISMO DEL MUNICIPIO

El municipio de Maleján, se sitúa en la Comarca del Campo de Borja, provincia de Zaragoza y cuenta con una población de 268 habitantes (INE 2023). Tiene una superficie de 0,07 km<sup>2</sup> una densidad de 3.629 hab./km<sup>2</sup>.

El municipio se encuentra situado en la ribera izquierda del río Huecha, de la que destaca al encontrarse sobre un pequeño altozano de 472 metros sobre el nivel del mar, que está situado a apenas mil quinientos metros de Borja.

Maleján en sus orígenes fue un palacio o una almunia árabe dependiente de Borja, construida por uno de los primeros monarcas de la dinastía húdi del “Reino de Zaragoza”, estaba dotado de una muralla del que se conservan todavía los restos de una torre de

notables proporciones del siglo X. Este hecho, podría ser el motivo de que en la actualidad el término municipal de Maleján se circunscriba exclusivamente al propio casco urbano <sup>29</sup>.



Fig.25. Vista Maleján.

Fuente: <https://campodeborja.es/>

Existían restos musulmanes de gran importancia, como un arco de herradura del que queda constancia gracias al artículo “La

<sup>28</sup> Instituto Geográfico de Aragón. Altas de Aragón. (2022) Población total municipal. [https://idearagon.aragon.es/atlas\\_new/Aragon/info/poblacion/poblacion-residente/poblacion-total-municipal](https://idearagon.aragon.es/atlas_new/Aragon/info/poblacion/poblacion-residente/poblacion-total-municipal)

<sup>29</sup> Caballero Subiza B. (1992) *Los restos islámicos de Maleján (Zaragoza): Nuevos datos para el estudio de la evolución de la decoración de la época de Califato al periodo Taifa*. Institución Fernando el Católico.



*cuna aragonesa de los Borgia*”, publicado en 1899 en la revista *Alrededor del Mundo* por su director Wandever acompañado de una fotografía, el arco se encontraba en el interior de una vivienda en el Callejón del Moro, pero fue demolido años después por el propietario de la vivienda.

El municipio conserva buena parte del trazado medieval, si bien ha sido en parte alterado debido a la repoblación que se realizó, al quedar prácticamente abandonado con la expulsión de los 330 moriscos que vivían en Maleján hasta el año 1610 <sup>30</sup>.

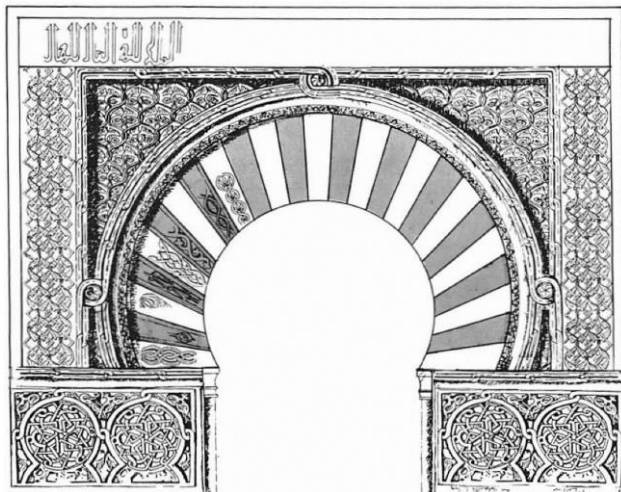


Fig. 26. Reconstrucción gráfica arco islámico. Dibujo de Juan José Borque Ramón según Caballero Subiza B. (1992).

Con todo ello, Maleján es el municipio con el término municipal más pequeño de Aragón.

A la izquierda de la carretera N-122 hacia Soria se sitúa el núcleo de población y a su derecha, fuera ya del término municipal, se encuentra el conjunto de bodegas vinícolas centenarias o cuevas vinarias excavadas en un cerro, que pertenecen administrativamente al municipio de Borja.

El casco antiguo es muy compacto, con manzanas irregulares adaptadas a la topografía, con estrechas calles y dos plazas, la

de la Iglesia y la Baja que constituye un mirador hacia el valle del Huecha con el Moncayo al fondo.



Fig. 27. Maleján, ortofoto PNOA 2021. Fuente: Instituto Geográfico Nacional.

Si analizamos la evolución urbanística del municipio desde los años 50 del siglo XX, observamos que el casco histórico mantiene la misma trama y tipología de vivienda (construcciones muy compactas entre medianeras y tres plantas de altura) y la trama que se ha expandido hacia el norte contiene construcciones más esponjadas y una altura media de dos plantas. Muchas de las construcciones más recientes limitan con la carretera N-122 cuyo trazado no ha variado durante el siglo XX.

La expansión, se ha producido sin una ordenación urbanística, ya que las nuevas calles antes eran caminos rurales.

Con respecto a los sistemas verdes, se observa que se ha reducido la superficie de huertas de uso particular junto al municipio, pero son más amplias las superficies arboladas junto a la ribera del río Huecha.

<sup>30</sup> Aguilera Hernández, A, Adiego Sevilla, R. (2013) *Maleján patrimonio artístico religioso*. Centro de Estudios Borjanos.

Además, el municipio cuenta con equipamientos que se han construido en la zona de borde durante el siglo XXI, como las instalaciones deportivas y piscinas al oeste y el pabellón al este.

El municipio no cuenta con planeamiento urbanístico propio, pero debido a que su término municipal se encuentra totalmente rodeado por el término de Borja, el PGOU de Borja califica como suelo urbano varias zonas que limitan con Maleján y que se denomina término municipal de Valturera.

Con el paso de los años el municipio ha experimentado un aumento de la despoblación, esta pérdida asciende a más de 50 habitantes en los últimos 15 años (Fig. 28).

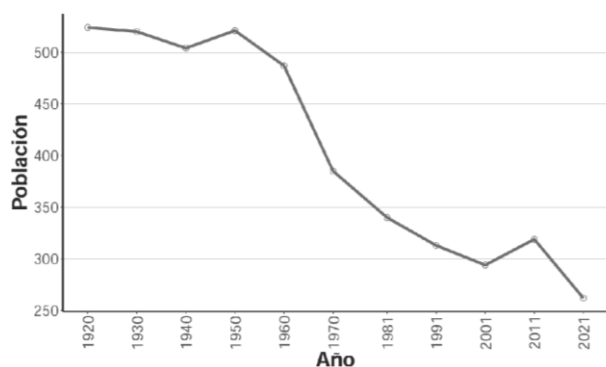


Fig. 28. Evolución de la población censal en Maleján. Fuente: Censos de 1900 a 2021. INE-IAEST.

Quizá la cercanía al municipio de Borja y la existencia de una mayor oferta de vivienda para la población joven en esa localidad, haya contribuido entre otras razones a ese descenso tan acusado de la población, lo que ha hecho que se vayan abandonando algunas casas del municipio y que adquieran un aspecto descuidado y empiecen a aparecer los problemas. Desde una simple gotera a la pintura de fachada, el alero en mal estado, etc. da lugar a un deterioro más avanzado.

Por todo ello, existen inmuebles que son susceptibles de rehabilitación y algunos no reúnen las condiciones necesarias de seguridad, salubridad y ornato público encontrándose en mal estado de conservación e incluso en estado de ruina. Además, la escasa área del municipio, que ya está actualmente colmatada de construcciones, hace que la mejor alternativa para encontrar soluciones de habitabilidad de calidad sea, precisamente, a través de la rehabilitación.

Además, el municipio se engloba dentro de una categoría denominada "Rural deprimido", municipios de menos de 500 habitantes que a lo largo de su historia reciente han sufrido intensos procesos migratorios campo – ciudad y que, en la actualidad, suelen carecer del dinamismo socioeconómico suficiente como para asegurar el mantenimiento de sus umbrales de población<sup>31</sup>.

Para mejorar esta situación, una de las medidas que Establece la Estrategia a Largo Plazo para la rehabilitación energética en el sector de la edificación en España – ERESEE 2020 – es el fomento de la Rehabilitación en estos pequeños municipios, con objeto de que puedan ser destinadas las viviendas al alquiler social, pudiéndose restaurar inmuebles valiosos patrimonialmente, con objeto de revitalizar los espacios tradicionales del entramado urbano municipal y, sobre todo, fijar población en el medio rural<sup>32</sup>. Maleján podría beneficiarse de este tipo de medidas, que necesita de una colaboración entre las distintas administraciones públicas para que se pueda al menos mantener su población actual.

<sup>31</sup> Instituto Geográfico de Aragón. Altas de Aragón. (2022) *Población total municipal*. [https://idearagon.aragon.es/atlas\\_new/Aragon/info/poblacion/poblacion-residente/poblacion-total-municipal](https://idearagon.aragon.es/atlas_new/Aragon/info/poblacion/poblacion-residente/poblacion-total-municipal)

<sup>32</sup> Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible. ERESEE 2020. <https://www.transportes.gob.es/el-ministerio/planes-estrategicos/estrategia-a-largo-plazo-para-la-rehabilitacion-energetica-en-el-sector-de-la-edificacion-en-espana/eresee2020>

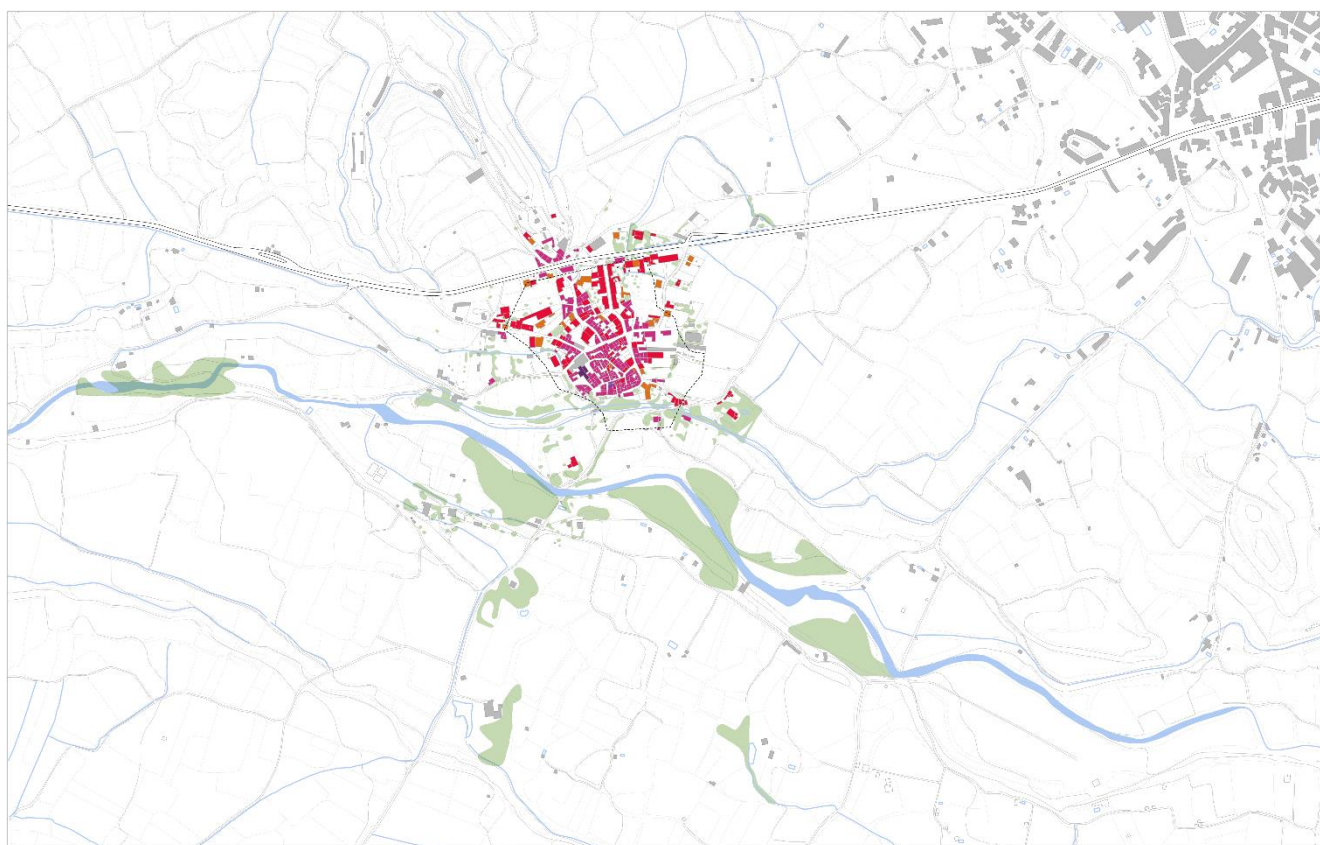


Fig. 29. Entorno municipio de Maleján. Fuente: Elaboración propia.



Fig.30. Término municipal de Maleján y antigüedad de las viviendas. Fuente: Elaboración propia a partir de información catastral.



## 4.2. IDENTIFICACIÓN DE VIVIENDA TIPO Y CARACTERIZACIÓN

A continuación, se realiza un análisis para la caracterización de las viviendas del municipio con el objetivo de identificar la tipología residencial que va a servir de caso de estudio para su rehabilitación energética.

**Tabla 3. Viviendas según tipo.**

| Tipo           | Viviendas  |
|----------------|------------|
| <b>Total</b>   | <b>222</b> |
| Principales    | 124        |
| No principales | 98         |

Fuente: Censo de población y viviendas. INE-IAEST 2021.

Como se muestra en la Tabla 3, aproximadamente la mitad no son viviendas principales, por lo que no podrían ser objeto de las políticas públicas de rehabilitación energética, ya que los objetivos de descarbonización del parque residencial en España se centran exclusivamente en viviendas principales. Se considera que poder acogerse a estas ayudas es fundamental para viabilizar la rehabilitación.

**Tabla 4. Distribución de las viviendas convencionales según superficie útil.**

| Superficie en metros cuadrados | %             |
|--------------------------------|---------------|
| <b>Total</b>                   | <b>100,00</b> |
| Hasta 45 m <sup>2</sup>        | 3,23          |
| De 46 a 60 m <sup>2</sup>      | 7,26          |
| De 61 a 75 m <sup>2</sup>      | 4,84          |
| De 76 a 90 m <sup>2</sup>      | 30,65         |
| De 91 a 105 m <sup>2</sup>     | 22,58         |
| De 106 a 120 m <sup>2</sup>    | 10,48         |
| De 121 a 150 m <sup>2</sup>    | 12,90         |
| Más de 150 m <sup>2</sup>      | 8,06          |

Fuente: Censo de población y viviendas. INE-IAEST 2011.

Como se puede observar en la Tabla 4, la superficie útil de vivienda más común en el municipio corresponde a los rangos de 76 a 90 m<sup>2</sup> y de 91 a 105 m<sup>2</sup>. Más de la mitad de las viviendas se corresponden con el rango de 76 a 105 m<sup>2</sup>.

**Tabla 5. Antigüedad de las viviendas.**

| Año de construcción | Viviendas | % sobre el total |
|---------------------|-----------|------------------|
| Antes de 1850       | 2         | 0,81             |
| 1850-1899           | 4         | 1,63             |
| 1900-1949           | 121       | 49,19            |
| 1950-1999           | 95        | 38,62            |
| 2000-2024           | 24        | 9,75             |

Fuente: Dirección General del Catastro. <https://www.sedecatastro.gob.es/>

Como se observa en la Tabla 5 y la Fig. 30, las viviendas más frecuentes son las construidas entre 1900 y 1949, lo que implica que se trata de un entorno arquitectónico envejecido y cuenta con las características constructivas propias de la época.

### Tipología de vivienda.

En la mayoría de los casos se trata de viviendas unifamiliares de 2 - 3 alturas (B+1, B+2) en parcela independiente adosadas con viviendas distribuidas en altura y patios (en su caso) laterales o traseros.

### 4.3. VIVIENDA CASO DE ESTUDIO

Tras el análisis anterior, se ha conseguido identificar una vivienda caso de estudio que se encaja dentro de la tipología característica del municipio en cuanto a su superficie útil, antigüedad altura y morfología.

Se sitúa en la calle Principal nº5 de Maleján y fue construida entre los años 1955-1956. Según datos catastrales consultados consta que se construyó en 1943 (Fig. 31), pero seguramente en ese año se construyeron únicamente otros anejos existentes en la finca de uso agrícola y ganadero.

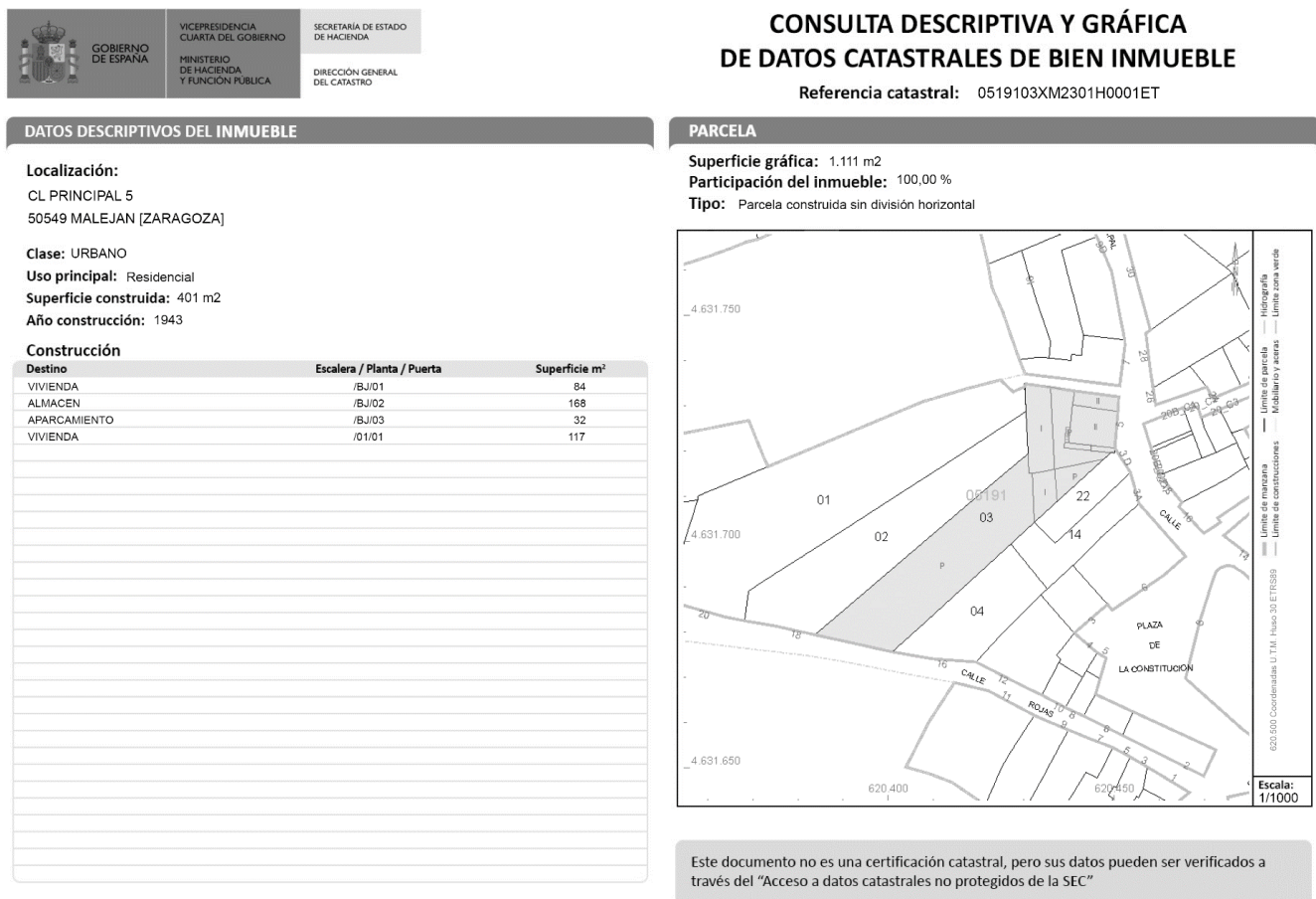


Fig. 31. Consulta datos catastrales vivienda caso estudio. Fuente: Sede Electrónica del Catastro.

Los promotores de la vivienda fueron D. Aurelio Azcona y D<sup>a</sup>. Milagros Pardo y residieron allí desde su construcción hasta los primeros años del siglo XXI.

Los planos utilizados para la construcción de la vivienda (Fig. 32), no están firmados por ningún arquitecto y no consta la fecha de su ejecución, únicamente aparece un sello que pone: "Valero - Construcciones en general -

Zaragoza", que no corresponde con el constructor que la ejecutó, ya que fue uno de la zona llamado "Construcciones Castellot". La vivienda construida difiere respecto de los planos originales.

A continuación, se describirá el edificio desde el punto de vista arquitectónico y constructivo.



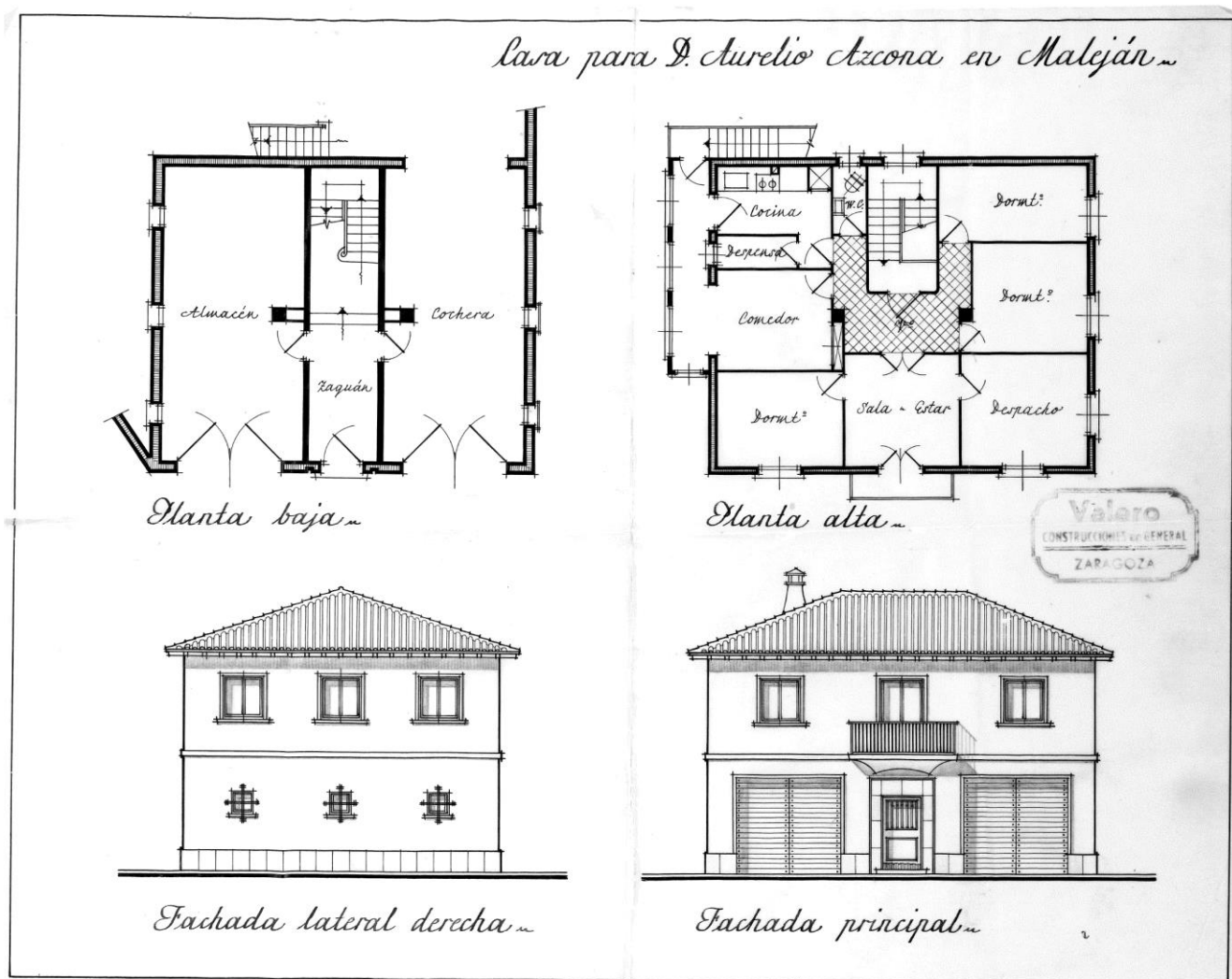


Fig. 32. Plano de construcción de la vivienda caso de estudio. Fuente: Propietarios de la vivienda.

La vivienda se ubica en un solar irregular de 1.111 m<sup>2</sup>, que recae a dos calles, la Calle Principal al este y la Calle Rojas al suroeste.

Se trata de una vivienda unifamiliar tradicional de planta baja y alzada de 117 m<sup>2</sup> construidos por planta (planos detallados en Anexo I y en figuras desde la 33 a 47).

En la planta baja se ubica el patio de acceso, cuartos para despensa, trastero y una cochera, en la planta primera se sitúan los espacios habitables como el salón, cocina, tres dormitorios, despacho y baño. Al sur se sitúa una terraza con salida desde salón y cocina.

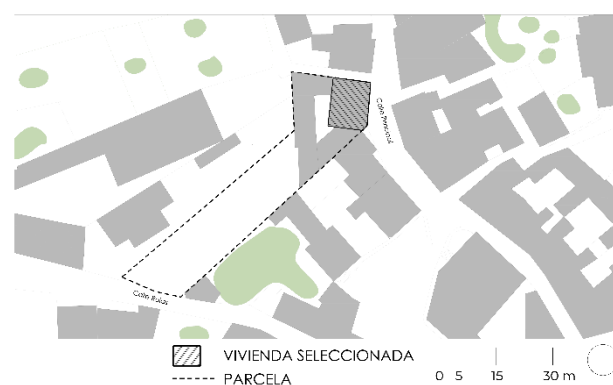
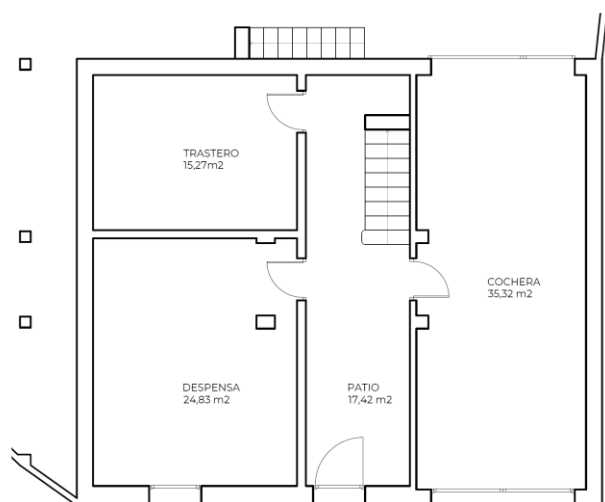
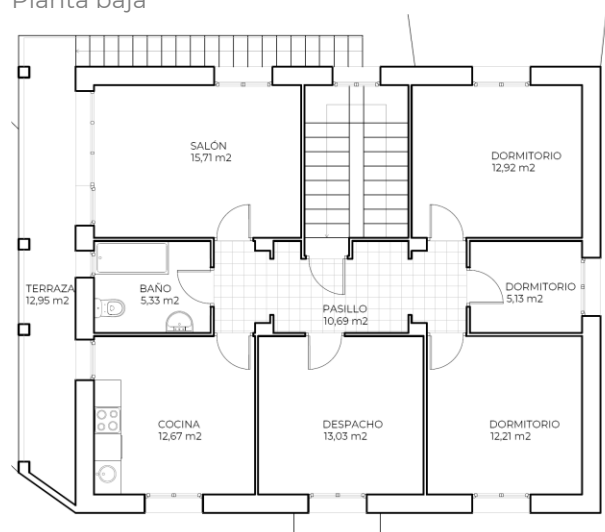


Fig. 33. Plano de emplazamiento de la vivienda. Fuente: Elaboración propia.



Planta baja



Planta primera

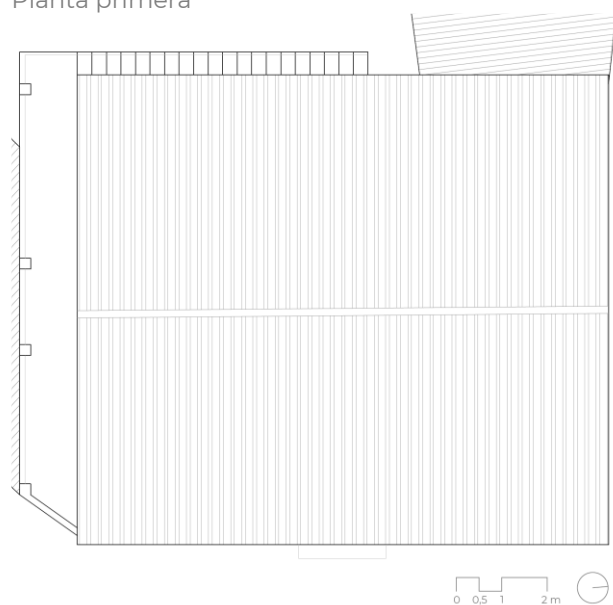


Fig. 34. Planos de planta baja, planta primera y cubierta. Fuente: Elaboración propia.



Fig. 35. Planta baja de la vivienda. Fuente: Elaboración propia.



Fig. 36. Planta primera de la vivienda. Fuente: Elaboración propia.





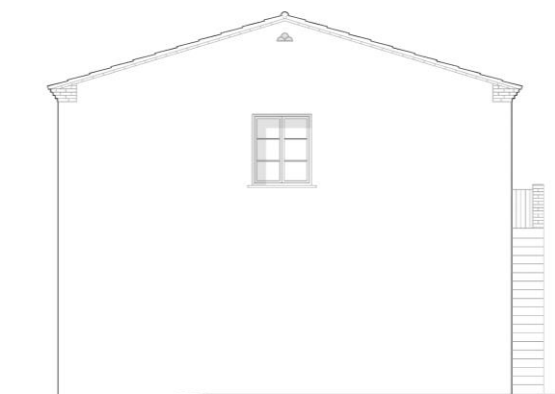
FACHADA ESTE



FACHADA OESTE



FACHADA SUR



FACHADA NORTE

0 0,5 1 2 m

Fig. 37. Fachadas. Fuente: Elaboración propia.

La vivienda tiene cuatro fachadas, dos de ellas, la norte y este, recaen hacia la calle y la sur y oeste recaen hacia el interior de la parcela, que se utilizaba antiguamente como corral.



Fig. 38. Vista fachadas vivienda. Fuente: Elaboración propia.

Constructivamente la vivienda, combina sistemas constructivos tradicionales del medio rural como la madera y el adobe con otros más recientes como el hormigón.

La cimentación se realizó mediante zapatas corridas bajo los muros de carga, posiblemente hayan sido ejecutados con hormigón ciclópeo u hormigón en masa. No se aprecia signo aparente de que la cimentación necesite refuerzo y la planta baja está elevada unos 20 cm respecto a la calle.

Los muros en la planta baja de la vivienda están ejecutados el primer metro con un murete de hormigón en masa de 36 cm de espesor, sobre este murete, se apoya 1 pie de bloque macizo de hormigón en masa fabricado manualmente a pie de obra de 36\*18\*18 cm (ver Fig. 40). En la planta primera se han empleado adobes con espesores de 40 cm, disponiéndose en machones, esquinas y jambas los mismos bloques de hormigón utilizados en la planta baja de la vivienda (ver Fig. 41).



Fig. 39. Sistema constructivo utilizados en la planta baja de la vivienda. Fuente: Elaboración propia.

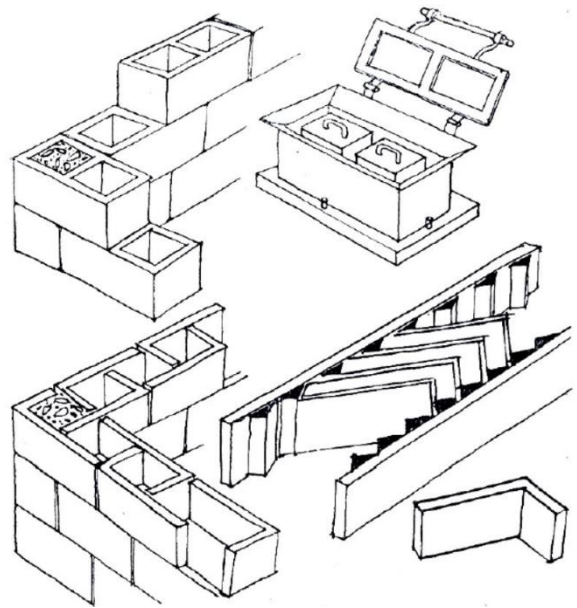


Fig. 40. Moldes para fabricación bloques de hormigón y fotografía fabricación de adobe en zonas rurales. Fuente: Azpilicueta Astarloa, E. *La Construcción de la Arquitectura de Postguerra en España (1939-1962)*.

La estructura del edificio está hecha mediante muros de carga de bloque de hormigón y adobe, cuatro pilastras interiores de 36x24 cm de ladrillo cerámico perforado, zunchos de hormigón en masa ejecutados en el perímetro



del edificio sobre los muros de carga, y sobre estos apoyan dos maderos de mayores dimensiones de unos 25 cm de anchura, que a su vez sobre estos se apoyan los maderos de los forjados de unos 15 cm de anchura de separados entre ellos 50 cm.



Fig. 41. Sistemas constructivos utilizados en la vivienda: Bloque de hormigón y adobe. Fuente: Elaboración propia.

Sobre los maderos se disponen cañizos y la capa base para el solado. El acabado inferior

del forjado en la planta baja es con revoltón de yeso. En el patio de acceso y planta primera se coloca un falso techo de escayola.



Fig. 42. Sistema estructural utilizado en la vivienda: Pilastras de ladrillo y forjado de maderos. Fuente: Elaboración propia.

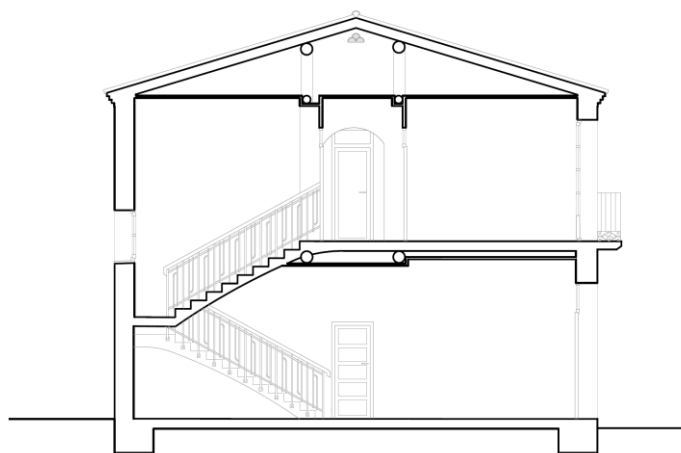
La escalera está ejecutada a la catalana con rasillas cerámicas.

La cubierta a dos aguas, tiene una estructura de madera que se apoya en los muros de carga y pilastras de ladrillo. La cobertura es de teja cerámica árabe.

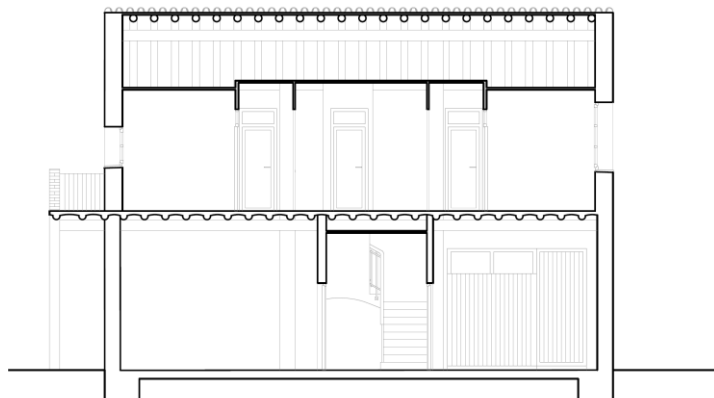
Las carpinterías son de madera con vidrio sencillo.

Los revestimientos interiores son de yeso y los solados son de baldosa hidráulica.

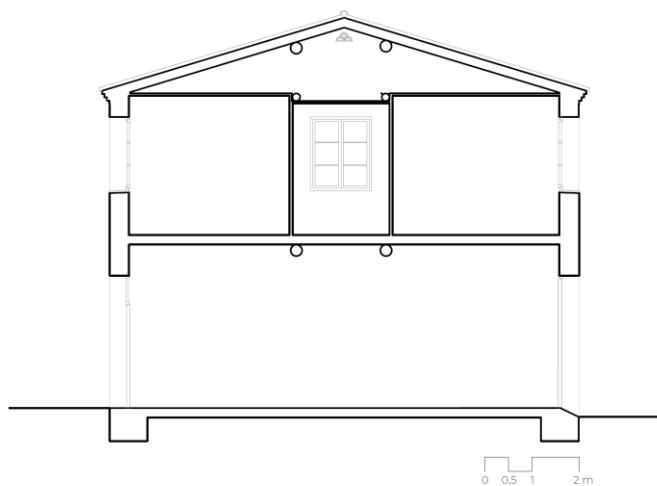
Las fachadas este, norte y planta alzada de la fachada sur están revestidas con un mortero de cemento que fue el originario de construcción, sin embargo, la fachada oeste se revistió inicialmente con un yeso que años después se cubrió con un mortero de cemento.



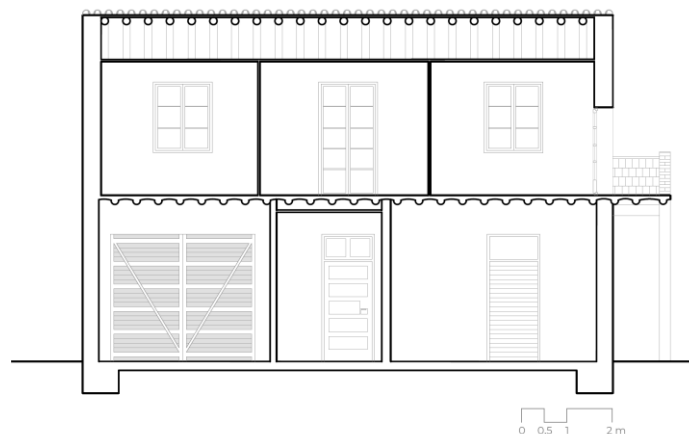
Sección 1



Sección 3



Sección 2



Sección 4

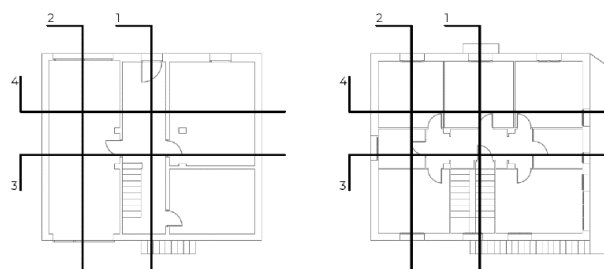


Fig. 43. Sección 1, 2, 3 y 4. Fuente: Elaboración propia.

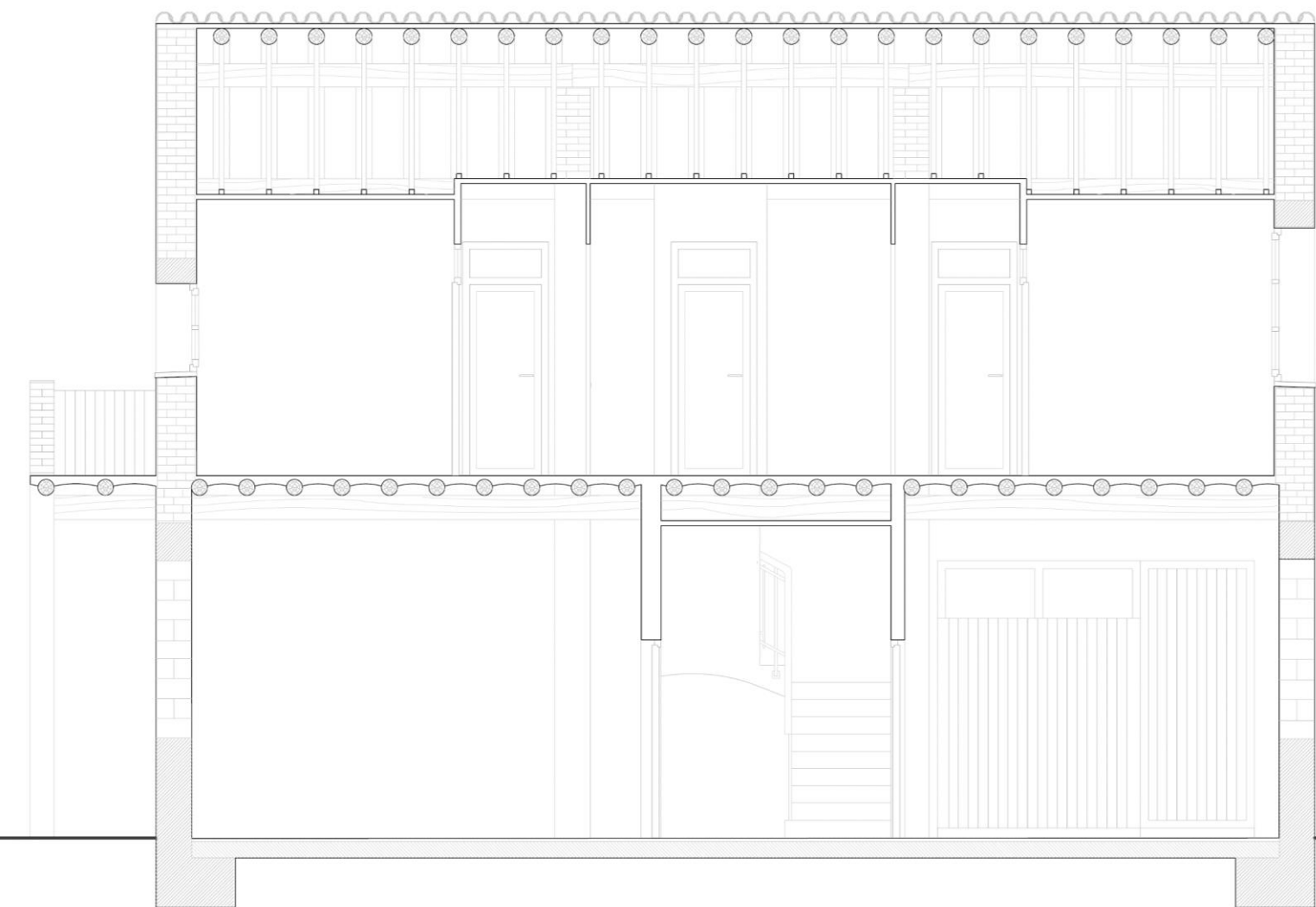


Fig. 44.. Sección constructiva 1. Fuente: Elaboración propia.



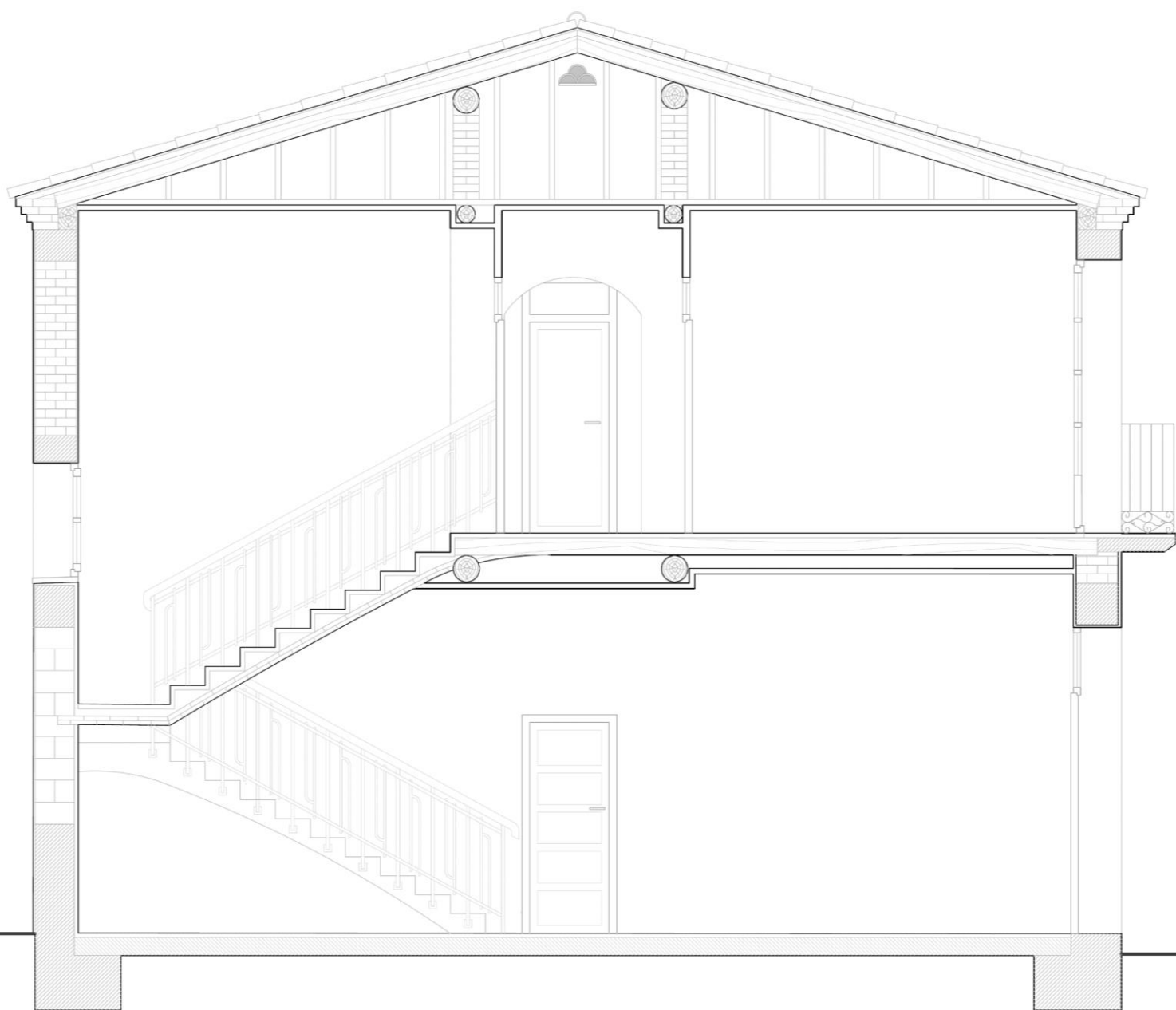


Fig. 45. Sección constructiva 2. Fuente: Elaboración propia.

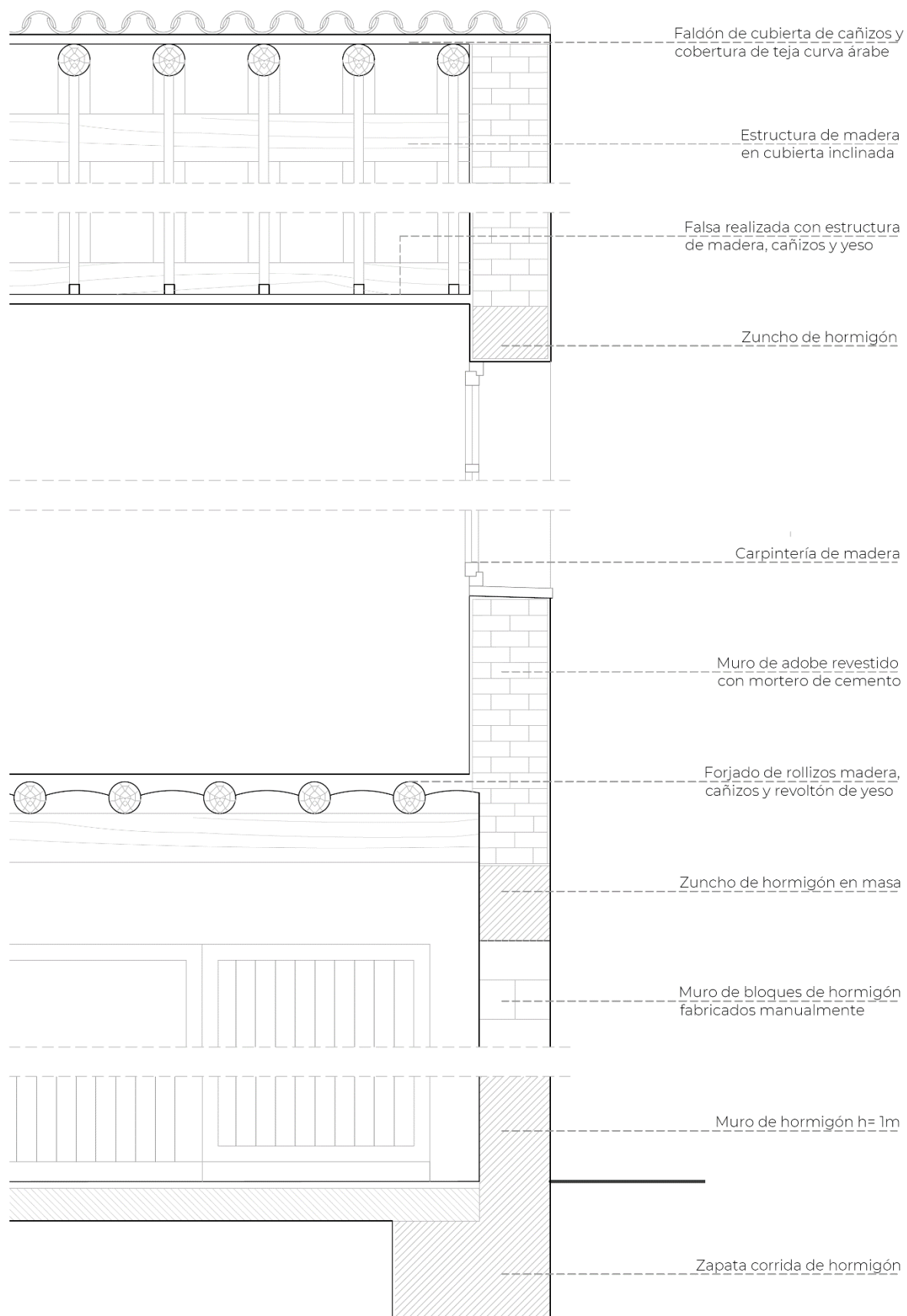
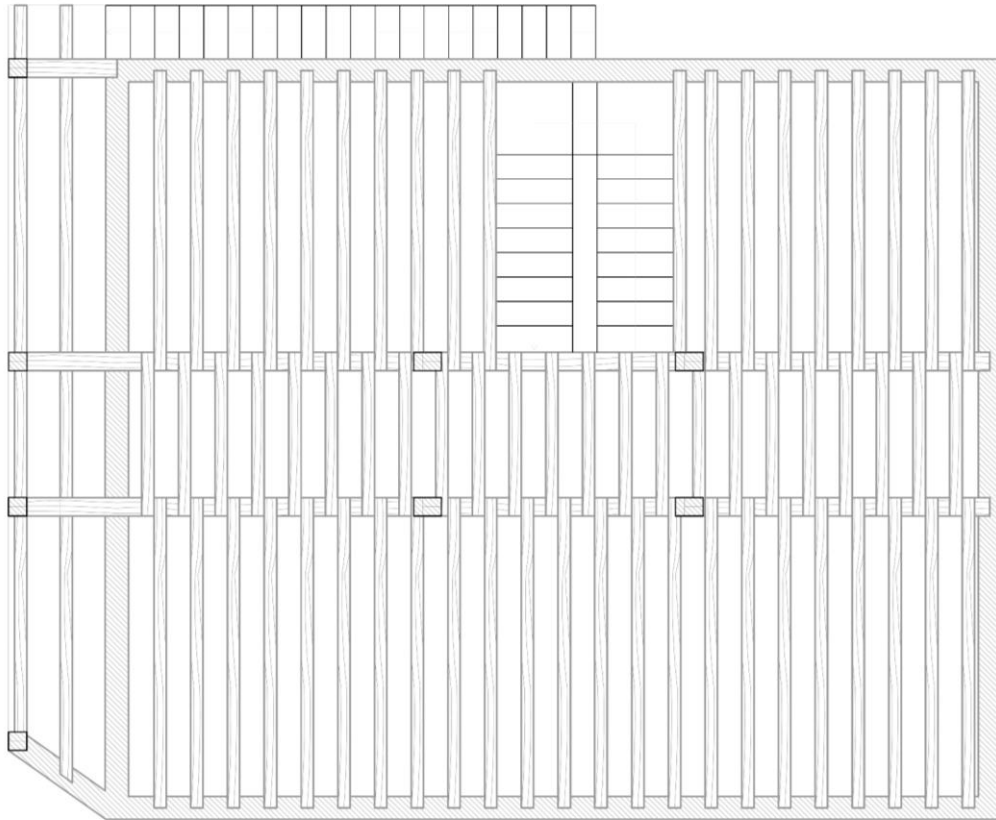
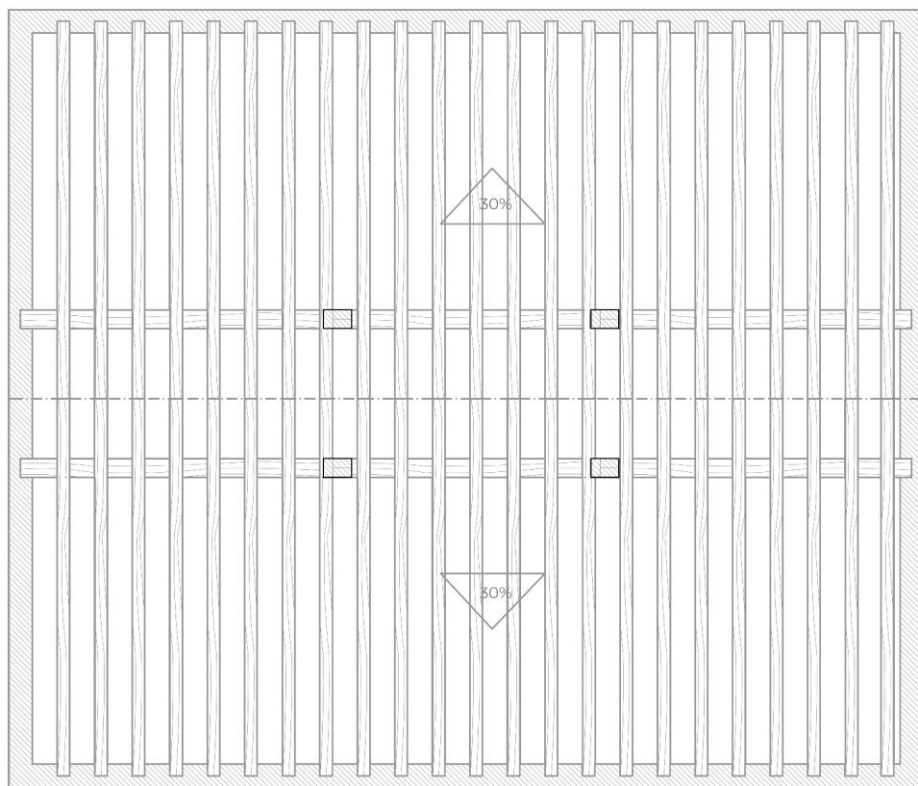


Fig. 46. Detalle sección constructiva 1. Fuente: Elaboración propia.



Forjado techo planta baja



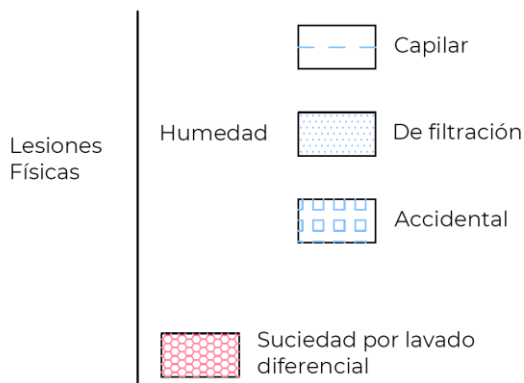
Forjado cubierta inclinada

Fig. 47. Estructura forjado planta primera y cubierta. Fuente: Elaboración propia.

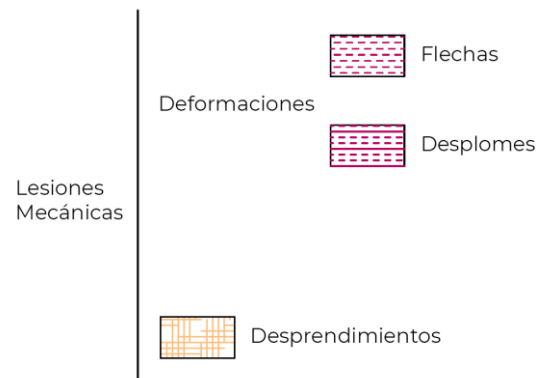
### 4.3.1. Estudio de patologías de la vivienda

Al estudiar la vivienda se ha identificado que tiene distintos tipos de lesiones, debidas a procesos físicos, mecánicos y químicos.

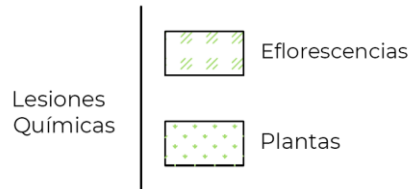
- a) Procesos físicos.** Se deben a la acción de los agentes meteorológicos sobre la superficie de los elementos situados al exterior. En la vivienda podemos observar que existen humedades por capilaridad, filtración del agua de lluvia o filtraciones accidentales debidas a roturas de tuberías. Además, la fachada principal tiene manchas de suciedad por lavado diferencial.



- b) Procesos mecánicos.** Son consecuencia de la función soporte de los elementos estructurales. Se observan deformaciones por flechas en vigas de madera, peligro por desplomes en pilastras de barandilla de terraza y desprendimientos en escalera de hormigón exterior en la fachada oeste.



- c) Procesos químicos.** Se producen por la presencia de contaminantes químicos en la atmósfera, que se unen a los agentes meteorológicos para completar su acción con el ataque químico a los materiales constructivos. En el edificio existen eflorescencias en muros interiores de la planta baja y lesiones debidas a la vegetación.



No obstante, muchas de las lesiones existentes han aumentado debido al abandono y la falta de mantenimiento del inmueble. Este problema existe en la mayoría de las zonas rurales, debido a que un gran número de edificaciones son abandonadas y muchas otras se utilizan sólo de forma puntual, por lo que no suelen recibir el mantenimiento adecuado.

A continuación, se muestra el mapa de lesiones existentes en la vivienda (Fig. 48).



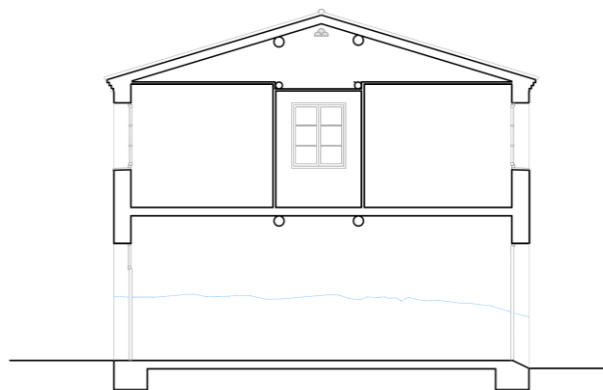
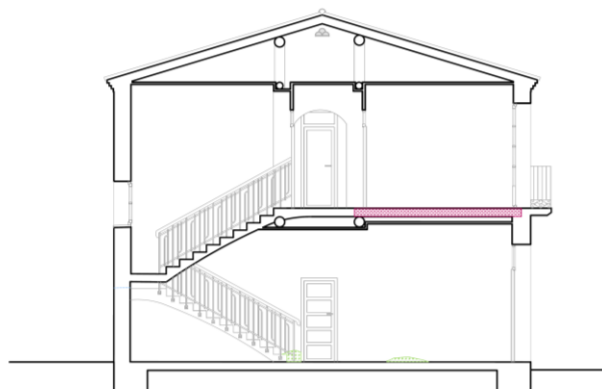
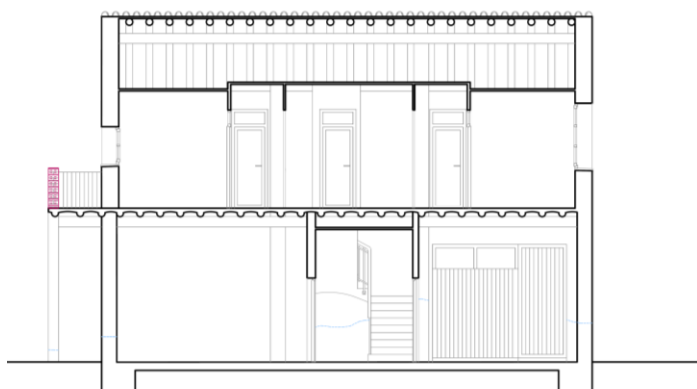
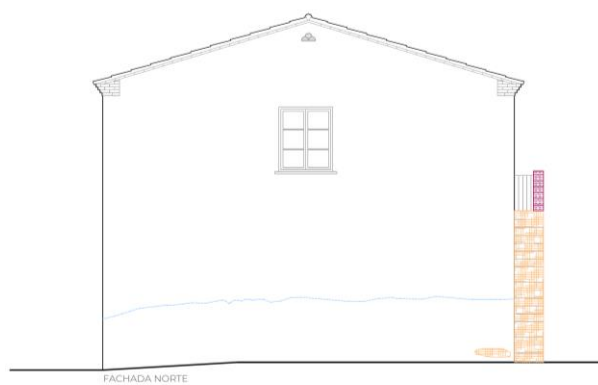
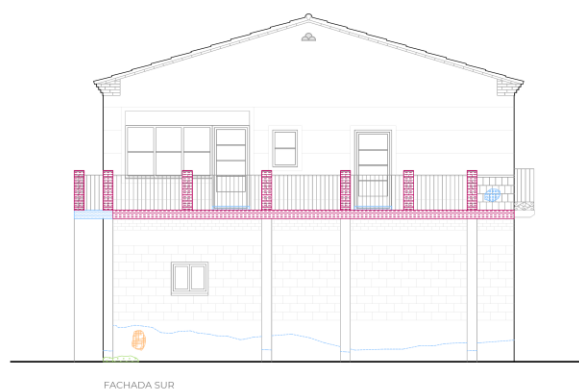


Fig. 48 Lesiones en fachadas y en secciones. Fuente: Elaboración propia.

### 4.3.2. Estudio energético de la vivienda

Con el objetivo de caracterizar la vivienda también desde el punto de vista energético, se ha elaborado su CEE. La herramienta utilizada es CE3X v2.3, programa simplificado para edificios existentes aprobado por el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. Este certificado permite conocer la eficiencia energética de la vivienda,

las emisiones de CO<sub>2</sub> y el consumo de energía primaria.

Dado que la vivienda se sitúa en Maleján a 472 msnm, le corresponde la zona climática D3 según Anejo B del CTE DB HE.

A continuación, se definen los parámetros a considerar para la elaboración del CEE, que se reflejan en la siguiente tabla 6:

**Tabla 6.** Parámetros a considerar para la elaboración del CEE. Fuente: elaboración propia con datos de fabricantes y Catálogo de elementos constructivos del CTE.

| Elemento   | Sistema constructivo / tipo de instalación   | Transmitancia térmica (W / m <sup>2</sup> ·K) | Transmitancia térmica máxima * (W / m <sup>2</sup> ·K) |
|--|--|---|--|
| Fachada  | Mortero de cemento – 2 cm<br>Bloques de adobe – 40 cm<br>Enlucido de yeso – 2 cm                 | 1,69  | 0,41   |
| Partición vertical en contacto con espacios no habitables (tabique escalera)   | Enlucido de yeso – 1,5 cm<br>Ladrillo hueco sencillo – 4 cm<br>Enlucido de yeso – 1,5 cm         | 1,33  | 0,65   |
| Partición horizontal en contacto con espacios no habitables inferior (forjado) | Baldosa hidráulica – 2 cm<br>Recrecido mortero – 2 cm<br>Cañizo – 4 cm<br>Enlucido de yeso -2 cm | 1,01  | 0,65   |
| Partición horizontal en contacto con espacios no habitables superior (falsa)   | Cañizo – 4 cm<br>Enlucido de yeso – 2 cm   | 0,68  | 0,65   |
| Carpintería  | Carpinterías de madera poco estancas con vidrio sencillo   | 5   | 1,8  |
| Calefacción  | Estufa leña 50%<br>Estufa eléctrica 50%  | -   |  |
| Agua caliente sanitaria  | Calentador gas   | -   | -  |

\* CTE HE, Tabla 3.1.1.a - HE1 Valores límite de transmitancia térmica para la zona climática D3

Con estos datos se obtiene la letra E para la calificación energética, teniendo un consumo de energía primaria no renovable de 260,1 kWh/m<sup>2</sup> año, este dato es similar al consumo energético medio de la vivienda rural en España que se expone en la introducción de este trabajo (240,6 kW·h/m<sup>2</sup>·año) y cuenta con unas emisiones de dióxido de carbono de 48,3 kgCO<sub>2</sub>/ m<sup>2</sup> año (ver CEE detallado en Anexo II).

La vivienda tiene una baja calificación, por ello las propuestas que se estudian en este trabajo

irán encaminadas a la adopción de medidas para reducir dichas emisiones, mejorar la calificación energética de la vivienda y los elementos pertenecientes a la envolvente térmica para que no superen los valores límite requeridos en el CTE para la zona climática D3.

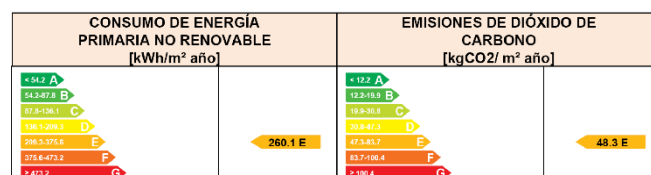


Fig. 49. Calificación energética obtenida. Fuente: Elaboración propia.

## 5. PROPUESTA DE INTERVENCIÓN

La intervención que se propone realizar en esta vivienda consta de dos partes.

En primer lugar, será necesario solucionar las patologías constructivas que se han identificado en la vivienda.

En segundo lugar, como se ha comentado a lo largo de todo el documento, se propone realizar una rehabilitación energética del edificio con el fin de mejorar su desempeño energético. En este sentido, se han planteado

dos grupos de soluciones. Por un lado, una solución de referencia, que sería una rehabilitación energética convencional, sin tener en cuenta los impactos ambientales de los materiales utilizados y, por otra parte, tres soluciones que utilizan materiales naturales y locales.

En las siguientes secciones se detallan ambas partes del proceso.

### 5.1 RESOLUCIÓN DE PATOLOGÍAS IDENTIFICADAS

Antes de plantearse realizar la rehabilitación de carácter energético, deben solucionarse las patologías que se han identificado. A pesar de que cada vivienda necesita un estudio propio de patologías, las que se han identificado en el presente edificio son las que se encuentran comúnmente en los edificios de esta tipología.

Para la resolución de las patologías se propone el uso igualmente de materiales naturales, siguiendo con la lógica empleada durante todo el trabajo.

En las siguientes líneas se aportan soluciones para cada uno de los grupos de patologías identificadas.

#### a) Procesos físicos

##### **a.1) Humedades por capilaridad**

Se producen en los muros de planta baja de la vivienda y llegan hasta una altura de 1 m, por el principio de capilaridad provoca que el agua ascienda por el elemento en contacto con el terreno empapando las paredes y provocando su descomposición (Fig. 50).



Fig. 50. Humedades por capilaridad en las fachadas. Fuente: Elaboración propia.

Propuesta de intervención: Repicar y eliminar el revoco de mortero de cemento en fachada principal y mortero de cemento y revoco de yeso en fachada interior y dejar secar un tiempo.

En las fachadas no recayentes a la calle, se realizará la excavación de zanja paralela a muro hasta llegar a la profundidad de la cimentación, se colocará un tubo de drenaje conectado a la red de evacuación, sobre el se colocará un geotextil y se llenará la zanja mediante grava, de manera que se permite que la parte enterrada del muro respire y la humedad salga directamente al exterior, evitando que ascienda por capilaridad a través del muro.

En la fachada principal en caso de no poder realizar una zanja con drenaje, se propone la colocación de electrodos para favorecer los procesos de electroósmosis-foresis, que invierten en la polaridad natural de ascensión del agua.

#### **a.2) Humedades por filtración de agua de lluvia**

Se producen a través de las carpinterías exteriores, a través de las juntas del alfeizar o de los marcos de madera de las ventanas (Fig. 51).

Propuesta de intervención: Esta patología quedará resuelta a través de las propias acciones que se incluirán en la rehabilitación energética. En concreto, en dicha intervención se retirarán las ventanas, se eliminarán las capas de pintura y posteriormente se aplicarán tratamientos naturales para su protección frente a insectos u hongos como el bórax y

acabado natural con aplicación de aceite de linaza, resinas naturales o cera pura de abeja <sup>33</sup>. Se aprovechará igualmente para mejorar la estanqueidad de la envolvente en los huecos, para lo que se utilizarán cintas precomprimidas y cintas autoadhesivas. Si las filtraciones se producen entre el vierteaguas y marco, se dispondrá una pieza cerámica que incluya la “formación de pendiente”. Las carpinterías que no sean reparables, se sustituirán por otras nuevas de madera.



Fig. 51. Humedades por filtración. Fuente: Elaboración propia.

#### **a.3) Filtraciones accidentales debidas a roturas de tuberías**

Se debe a la rotura de una tubería que discurre por el interior de la vivienda (Fig. 52).

Propuesta de intervención: Sustitución de la instalación de fontanería y saneamiento de la vivienda. Repicado de mortero limpieza y secado de paramento y aplicación de distintas capas de mortero de cal sobre muro de adobe.

<sup>33</sup> Abarca M. Cambra S. Pardina J.A. Pawlowsky H. (2011) *Soluciones técnicas para la rehabilitación de la arquitectura rural tradicional*. Centro de Desarrollo del Somontano.





Fig. 52. Humedades por filtraciones accidentales. Fuente: Elaboración propia.

#### **a.5) Manchas de suciedad por lavado diferencial**

Está producido por partículas ensuciantes que penetran en el poro superficial del material por acción del agua de lluvia (Fig. 53).

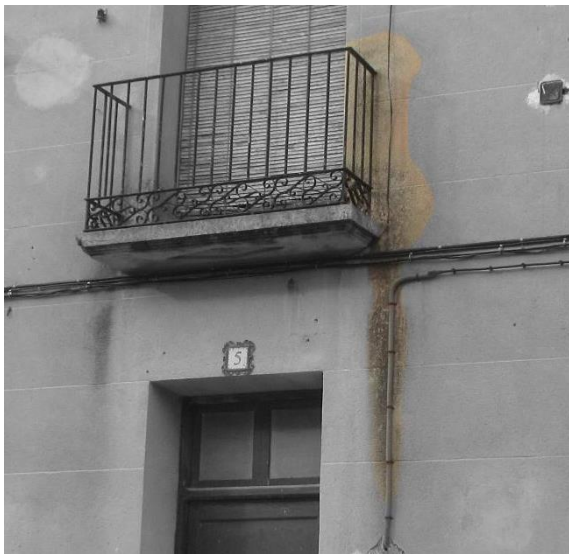


Fig. 53. Manchas de suciedad por lavado diferencial. Fuente: Elaboración propia.

Propuesta de intervención: Picar, secar, limpiar y aplicar Limpieza del paramento y aplicación de un nuevo revestimiento de mortero de cal.

## **b) Procesos mecánicos**

### **b.1) Deformaciones por flechas en vigas de madera**

En el forjado de la terraza existe un madero deteriorado debido al contacto con agua de lluvia produciendo su deformación (Fig. 54 y 55).



Fig. 54 y 55. Deformación de forjado de terraza debido al deterioro de viga de madera. Fuente: Elaboración propia.

Propuesta de intervención: Apeado inicial de la estructura horizontal y posterior sustitución de madero deteriorado por otro de similares características procedente de demolición, previamente

será tratado contra xilófagos. Se repicará y eliminará parte del revoltón de yeso en malas condiciones y se procederá a la posterior aplicación de distintas capas de mortero de yeso artesano con la colocación de malla de fibra de vidrio.

### ***b.2) Peligro por desplomes en pilastras de barandilla de terraza***

Existe peligro por desplome en pilastras de barandilla de la terraza, que se debe a la deformación del plano estructural en el que se apoyan (Fig. 56).

Propuesta de intervención: Una vez reparado el plano de apoyo (etapa b.1), será necesario rehacer las pilastras de ladrillo, para ello se puede recuperar el ladrillo existente. Las juntas se realizarán con mortero de cal y sobre estas se colocará una albardilla cerámica para evitar que penetre el agua de lluvia.



Fig. 56. Desplomes de pilastras de barandilla. Fuente: Elaboración propia.

### ***b.2) Desprendimiento de revestimiento de fachada***

Debido al paso del tiempo y las humedades existentes en la parte baja de los muros, el revestimiento se va desprendiendo y el interior del muro,

sobre todo en la planta primera que está realizado con bloques de adobe se queda desprotegido (Fig. 57, 58 y 59).

Propuesta de intervención en fachada principal y lateral: Se repicará y eliminará el revoco de la parte baja y zonas deterioradas, se eliminarán las plantas que se han formado y se dejará secar el muro. Una vez limpiada la zona se aplicará una primera capa de mortero de cal de agarre que debe quedar rugosa y se colocará una malla anclada al muro, posteriormente se aplicará una o varias capas de regularización y terminación que podrá aplicarse en el resto de la fachada. En la parte baja del muro se podrá colocar además un zócalo de piedra natural tratada para evitar que absorba el agua.



Fig. 57 y 58: Revestimiento desprendido en fachada principal y lateral. Fuente: Elaboración propia.



Propuesta de intervención en fachada posterior: Se repicará el revestimiento de mortero de cemento que se colocó sobre el revestimiento de yeso original. Una vez limpia la zona se aplicará una primera capa de mortero realizado con yeso artesanal que debe quedar rugosa y se colocará una malla anclada al muro, posteriormente se aplicará una o varias capas de regularización y terminación también de yeso.



Fig. 59: Revestimiento desprendido y en mal estado en fachada posterior. Fuente: Elaboración propia.

### c) Procesos químicos

#### c.1) Eflorescencias

Se trata de un proceso patológico que suele tener como causa directa la previa aparición de humedad, como es el caso de la parte baja de los muros de esta vivienda. Los materiales que contienen sales solubles como los ladrillos son arrastrados por el agua hacia el exterior durante su evaporación y cristalizan en la superficie del material (Fig. 60).

Propuesta de intervención: Se eliminará la pintura del zócalo y repicará el revestimiento de yeso. Una vez limpia la

zona se aplicará una capa de yeso y una pintura de terminación transpirable.



Fig. 60: Revestimiento desprendido y en mal estado en fachada posterior. Fuente: Elaboración propia.

#### c.2) Lesiones debidas a vegetación

En el interior de la parcela ha surgido vegetación que puede llegar a afectar a los materiales. Su proceso patológico es fundamentalmente químico, ya que segregan sustancias que alteran la estructura química del material (Fig. 61).

Propuesta de intervención: Se eliminará la vegetación, principalmente la que se encuentra junto a pilares y muros de fachada y se aplicará herbicida.



Fig. 61: Existencia de vegetación junto a la vivienda. Fuente: Elaboración propia.

## 5.2. MEJORA ENERGÉTICA DE LA VIVIENDA

Tras proponer cómo resolver las patologías identificadas, se pasa a plantear la mejora energética de la vivienda.

Para ello, en primer lugar, se establecen una serie de criterios que guiarán la propuesta de intervención:

- **Utilización de materiales naturales y de proximidad.** Como se ha comentado previamente, se establece como requisito fundamental la utilización de materiales y soluciones que contribuyan a reducir el impacto ambiental y la huella ecológica generada por los edificios durante la fase de producción de los materiales de construcción, la fase de rehabilitación, así como en su fase de uso y mantenimiento. Después del estudio de los materiales realizado en este trabajo, se consideran materiales de proximidad los que se fabrican a una distancia máxima de 200 km respecto de la vivienda caso de estudio.
- **Normativa técnica de aplicación.** El CTE es aplicable a intervenciones de edificios existentes, por ello se deberán considerar las exigencias del DB HE para que los elementos pertenecientes a la envolvente térmica no superen los valores límite requeridos.
- **Normativa urbanística de aplicación.** El municipio carece de planeamiento,

por lo que son de aplicación las Normas Subsidiarias y Complementarias Provinciales <sup>34</sup>, que establecen que cuando sobre una edificación existente se proyecte realizar alguna reforma o modificación, se conservarán todos los elementos arquitectónicos que den carácter al edificio, recuperándolos o integrándolos en la nueva edificación. Se establece también criterios de dimensiones mínimas de recintos habitables y altura mínima libre que no afectan a la vivienda estudiada.

- **Políticas públicas de rehabilitación energética.** Posibilidad de que la vivienda sea susceptible de recibir ayudas para su rehabilitación o los promotores puedan beneficiarse de una deducción fiscal. Actualmente podrían recibir algún tipo de deducción aquellas rehabilitaciones que permitan reducir el consumo de energía primaria no renovable un 30% como mínimo.<sup>35</sup>
- **Aspectos característicos de la arquitectura rural.** La vivienda es una edificación rural típica de los años 50 del siglo XX reflejo de las actividades agrícolas y ganaderas que se desarrollaban, está construida con materiales y técnicas tradicionales de esa época que se considera que es

<sup>34</sup> Normas Subsidiarias y Complementarias de Planeamiento Municipal de la Provincia de Zaragoza, BOA 25 de abril de 1991.

<sup>35</sup> Sede Agencia Tributaria. (2024). *Deducción por obras para la mejora en el consumo de energía primaria no renovable*. <https://sede.agenciatributaria.gob.es/Sede/vivienda-otros-inmuebles/deducciones-obras-mejora-eficiencia-energetica-viviendas/deduccion-obras-mejora-consumo-energia-renovable/que-obras-derecho-deduccin.html>



necesario conservar, así como elementos existentes en la fachada como el alero y el balcón.



Fig. 62. Fachada vivienda. Fuente: Elaboración propia.

- **Aislamiento de la edificación.** El aislamiento en la fachada puede disponerse por el exterior o por el interior (Fig. 63). Para viviendas de uso habitual interesa mantener la inercia térmica interior, y por ello sería conveniente disponer el aislamiento por el exterior. En este caso, que previsiblemente se convertirá en una segunda residencia interesa disponer el aislamiento por el interior, de manera que se evite tener gran inercia térmica interior, porque lo que se desea es que la vivienda adquiera la temperatura de confort lo más rápido posible, aunque después no la mantenga mucho en el tiempo. Además, disponiendo el aislamiento por el interior se evitan problemas de encuentros con el alero, cornisas, voladizos, cableado y resolución de encuentro de la fachada entre plantas, ya que la planta baja no es habitable y no se va a intervenir en ella salvo para resolver las patologías encontradas. En

este trabajo, se asume que aislando por el interior se van a tener puentes térmicos, no obstante, los debidos a encuentros entre tabiques y fachadas podrían eliminarse en el caso de estudiarse otra distribución de la vivienda que no es objeto de este trabajo.

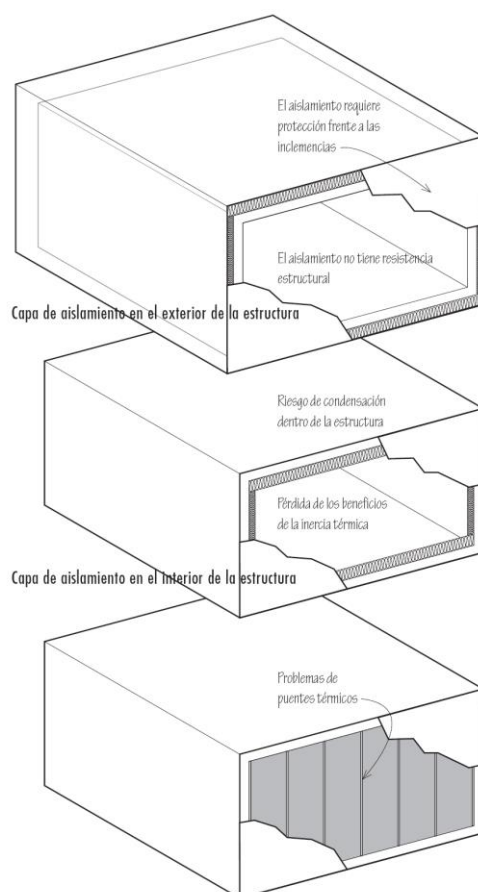


Fig. 63. Aislamiento por el exterior o interior de la envolvente térmica. Fuente: Chig F. Shairo I. (2015) *Arquitectura Ecológica*. Editorial Gustavo Gili.

- **Criterios utilizados para la elección de los materiales en la rehabilitación.** Para la selección de los materiales se ha primado en primer lugar la proximidad de fabricación de los materiales respecto de la vivienda a rehabilitar, no solo para disminuir los impactos del transporte, sino porque se pretende contribuir a la economía y el empleo local como otra de las armas

para luchar contra la despoblación y la degradación del medio rural. En segundo lugar, se ha priorizado el bajo impacto ambiental de los materiales y, en tercer lugar, su adaptabilidad al

edificio y economía. A continuación, en la Tabla 7 y la Fig. 64 se relacionan los materiales empleados siguiendo estos criterios de selección.

**Tabla 7.** Sumario de materiales de proximidad para la rehabilitación de la vivienda. Fuente: elaboración propia con datos de fabricantes y Catalogo de elementos constructivos del CTE.

| Materiales  | Conductividad térmica<br>$\lambda$ (W / m·K) | Distancia fabricación<br>(km) | Lugar de instalación/ colocación                 |
|---|--|-------------------------------|--|
| Paja – aislante yeso-paja                           | 0'045  | 0                             | Aislamiento falsa de cubierta                    |
| Celulosa proyectada (Aislanat)                      | 0,04   | 140                           | Aislamiento forjado techo planta baja            |
| Panel fibra textil reciclada (Geopannel)            | 0,034  | 136                           | Aislamiento fachadas y cerramientos verticales   |
| Madera de pino (Madera Pinosoria, S.L.)             | 0,15   | 125                           | Montantes trasdosado y falso techo, carpinterías |
| Mortero de cal (Comercial e Industrial Aries, S.A.) | 0,8  | 117                           | Reparación patologías                            |
| Yeso artesano (Yesos de Tramacastilla)              | 0,5  | 200                           | Reparación patologías                            |
| Placas de arcilla (Ecoclay)                         | 0,18   | 194                           | Trasdosado                                       |
| Placas de yeso laminado (Pladur)                    | 0,25   | 120                           | Falso techo                                      |

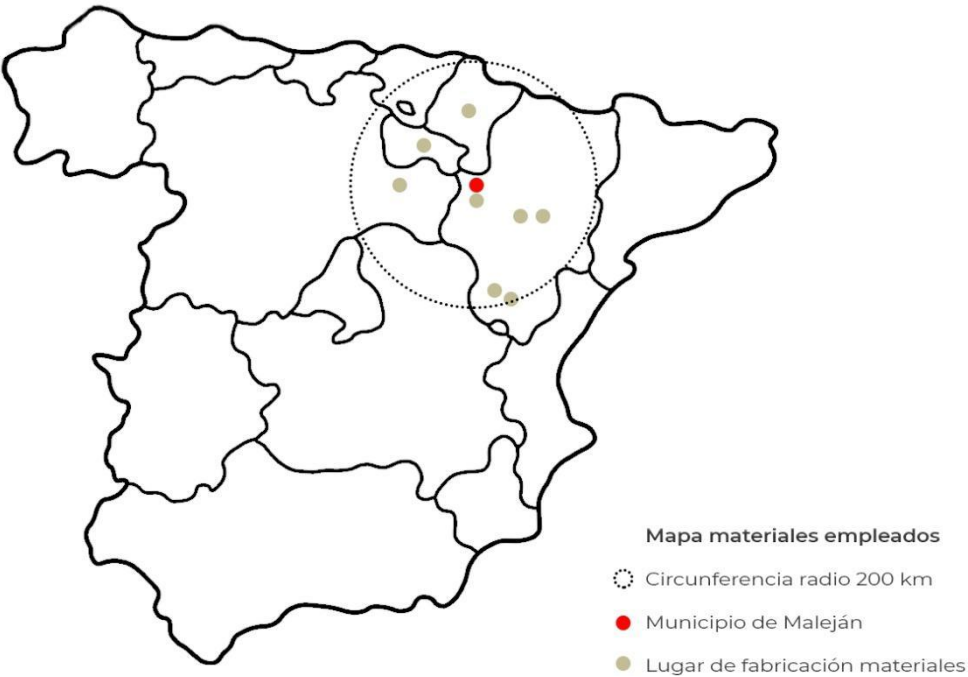


Fig. 64. Mapa del lugar de fabricación de los materiales empleados en la rehabilitación con materiales de proximidad. Fuente: Elaboración propia.

### 5.2.1 Propuesta de rehabilitación energética con materiales naturales y de proximidad

Teniendo en cuenta los criterios anteriormente descritos para la rehabilitación energética de la vivienda, a continuación, se detalla la propuesta que utiliza materiales naturales y de proximidad para la intervención:

- **Aislamiento de la fachada:** Se dispondrán mantas de fibra textil reciclada de 8 cm de espesor (0,034 W/mK) con barrera de vapor de la marca Geopannel entre rastreles de madera a los que se fijarán placas de arcilla de la marca Ecoclay (Fig. 65 y 66). Se realizará el rejuntado de las placas de arcilla con tiras de malla de yute en las juntas y se aplicará una capa de 3mm de mortero de arcilla para alisar toda la superficie. Para el acabado se aplicará una pintura de arcilla al silicato.

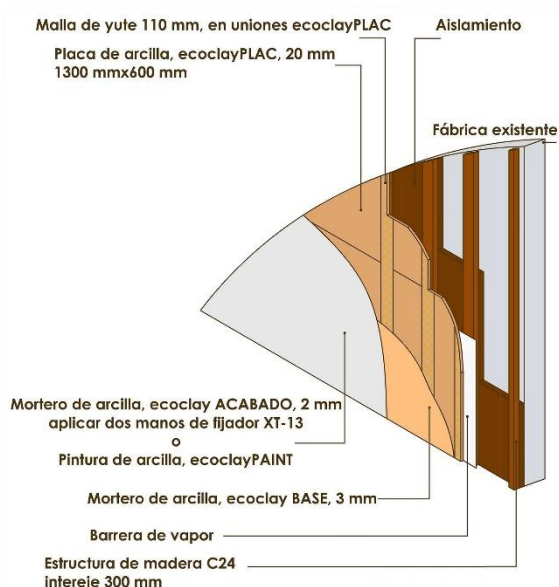


Fig. 65. Sistema constructivo con placas de arcilla Fuente: <https://ecoclay.es/>

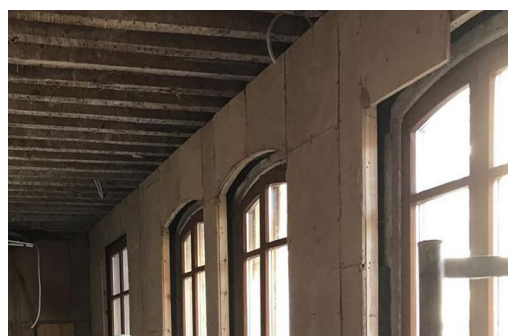


Fig. 66. Placas de arcilla en trasdosado Fuente: <https://ecoclay.es/>

- **Aislamiento de la falsa:** Primero se colocará una barrera de vapor y sobre ésta un aislamiento de 6 cm con barro-paja o yeso-paja (0'045 W/mK), con dosificación 1 tierra-yeso, 1,5 agua y 10 paja (Fig. 67). Se trata de un aislamiento muy rápido, barato y ligero, pudiendo aplicarse también sobre falsos techos.<sup>36</sup>



Fig. 67. Aislamiento barro-paja. Fuente: <https://pedrobelarq.blogspot.com/>

- **Aislamiento forjado techo planta baja.** Se proyectará como aislante 4 cm de celulosa (mínimo espesor recomendado por fabricante Aislanat), realizado a partir de papel reciclado (0,04 W/mk). En la cochera se instalará

<sup>36</sup> Bel, P. (2015, 6 de octubre) Proporciones para el aislamiento barro-paja. *Pedro Bel Arquitectura con Minúscula*. <https://pedrobelarq.blogspot.com/2015/10/proporciones-para-hacer-aislamiento-de.html>

un falso techo de placas de yeso laminado fabricadas a 120 km de distancia, colocadas sobre rastreles de madera debido a que la reacción al fuego del aislamiento de celulosa según el fabricante Aislanat es B-s2,d0, insuficiente para recintos de riesgo especial según Tabla 4.1 del CTE DBSI 1.



Fig. 68. Aislamiento de forjado de maderas con celulosa proyectada.  
Fuente: <https://www.aislaecotres.es/>

- **Carpinterías de madera.** La vivienda tiene carpinterías de madera con vidrio sencillo. Las de la fachada sur es necesario sustituirlas por otras de madera ( $2 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ ) debido a su mal estado causado principalmente a su exposición al sol. El resto se podrían conservar, para lo que sería necesario su reparación, la eliminación de las capas de pintura y posteriormente la aplicación de tratamientos naturales para su protección frente a insectos u hongos como el bórax y acabado natural con aplicación de aceite de linaza, resinas naturales o cera pura de abeja <sup>37</sup>. Además, será necesario la sustitución de los vidrios sencillos por otros dobles con cámara de gas argón ( $1 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ ).

Existen fabricantes de carpinterías de madera en el entorno de la vivienda como en Borja (1,5 km) o Tarazona (20 km).



Fig. 69. Carpintería de madera del fabricante Carmave S.L. en Tarazona.  
Fuente: <https://carnave.es/>

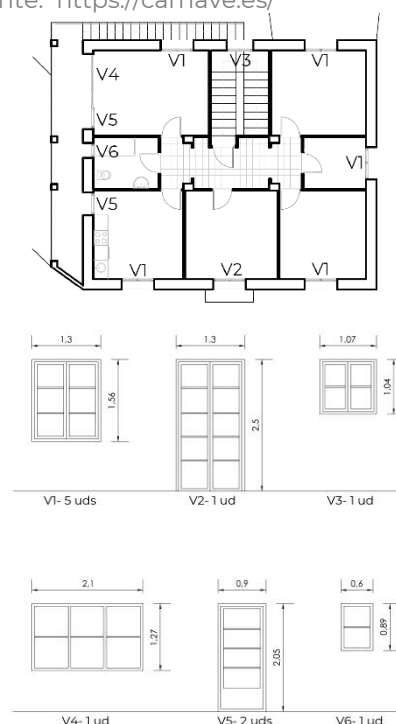
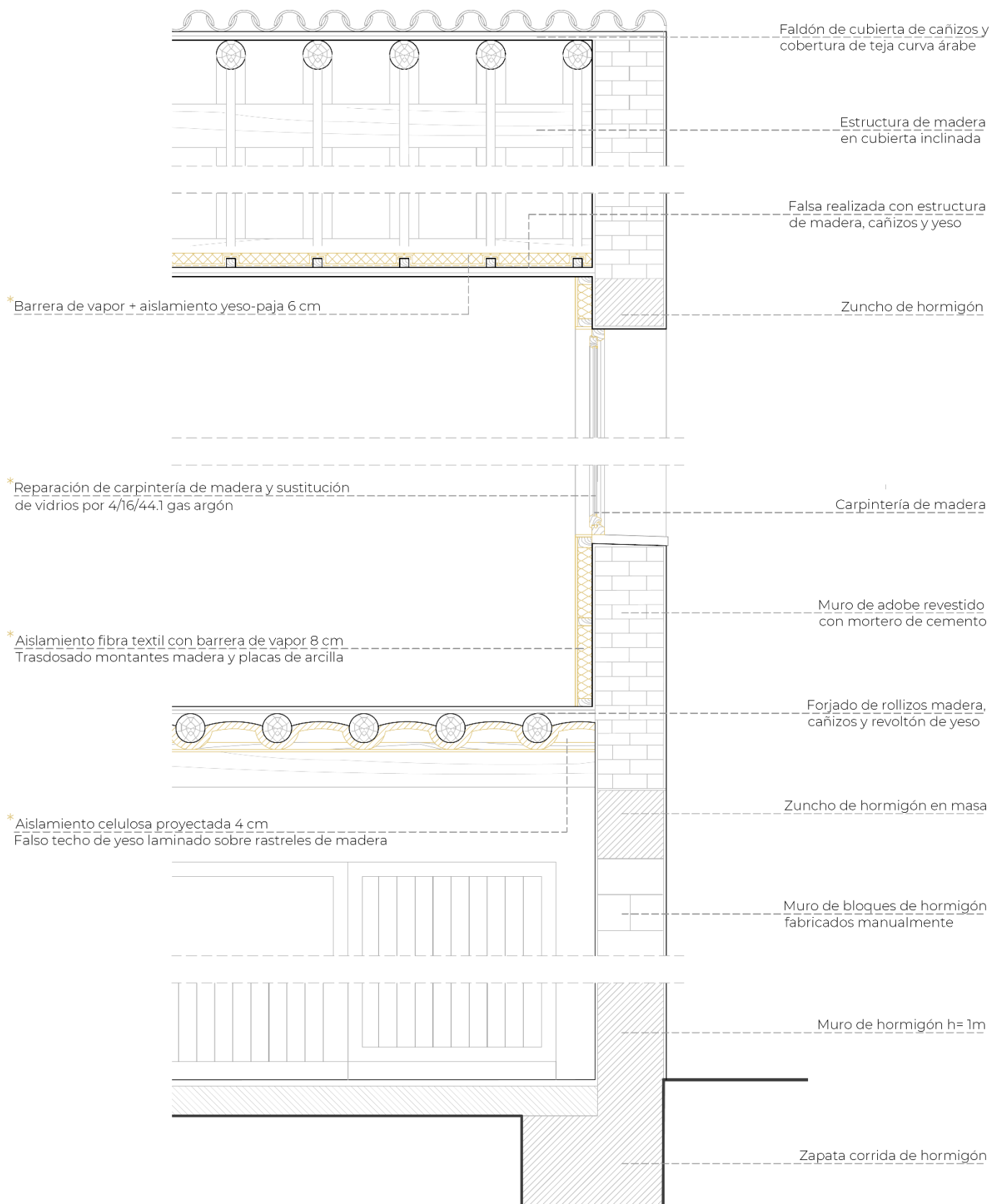


Fig. 70. Detalle de carpinterías a reparar o sustituir en la vivienda. Fuente: Elaboración propia.

En la figura 71 se detalla la sección constructiva con las soluciones propuestas.

<sup>37</sup> Abarca M. Cambra S. Pardina J.A. Pawlowsky H. (2011) *Soluciones técnicas para la rehabilitación de la arquitectura rural tradicional*. Centro de Desarrollo del Somontano.





\* PROPUESTAS DE REHABILITACIÓN ENERGÉTICA

Fig. 71. Sección constructiva rehabilitación energética. Fuente: Elaboración propia.

### 5.2.2. Propuesta de rehabilitación energética convencional

Una vez estudiada la rehabilitación energética con materiales naturales y de proximidad, se detalla una opción de rehabilitación energética convencional, sin considerar el enfoque de ciclo de vida, que se utilizará a fin de comparar los impactos de ambas soluciones y su comportamiento energético.

- **Aislamiento de la fachada:** Se dispondrán mantas de lana de roca de 8 cm de espesor ( $0,035-0,04 \text{ W/mK}$ ) con barrera de vapor entre montantes de acero laminado a los que se fijarán placas de yeso laminado de 13 mm de espesor (Fig. 72). Para el acabado se aplicará una pintura plástica lisa.

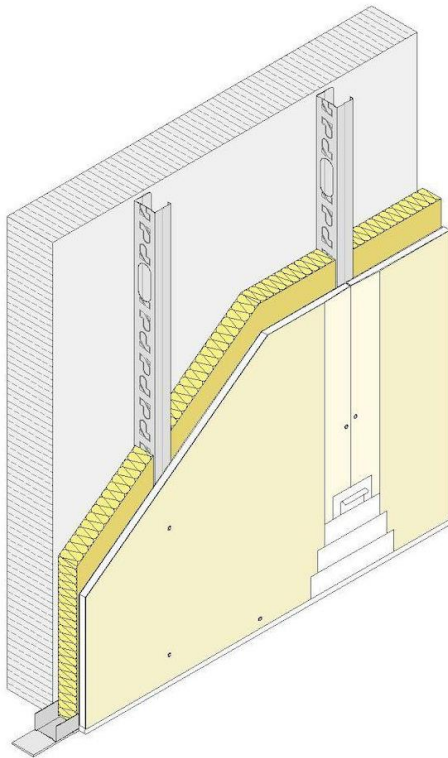


Fig. 72. Sistema constructivo de trasdosado con placas de yeso laminado. Fuente: <https://corporativo.pladur.com/es>

- **Aislamiento de la falsa:** Se instalarán mantas de lana de roca con barrera de vapor de 6 cm de espesor ( $0,035-0,04 \text{ W/mK}$ ).
- **Aislamiento forjado techo planta baja.** Se proyectará como aislante 4 cm de poliuretano proyectado ( $0,03 \text{ W/mK}$ ) y se instalará un falso techo de placas de yeso laminado colocadas sobre perfilaría de acero laminado
- **Carpinterías de aluminio.** Se sustituirán la totalidad de las carpinterías de madera por nuevas carpinterías de aluminio con rotura de puente térmico con una transmitancia de  $2,8 \text{ W/m}^2\text{K}$  (Fig. 73) y con vidrios dobles con cámara de gas argón ( $1 \text{ W/m}^2\text{K}$ ).



Fig. 73. Ventana de aluminio con RPT. Fuente: <https://www.cortizo.com/es>

## 6. COMPARACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL DE LOS ESCENARIOS DE REHABILITACIÓN

El papel relevante que tienen el sector de la construcción para contribuir a la descarbonización es por todos conocidos. En este sentido, hasta el momento, el foco se ha puesto en mejorar la eficiencia energética de los edificios para que generen unas emisiones de gases de efecto invernadero menores durante su fase de uso.

Sin embargo, cada vez más, ese foco se está poniendo en actuar sobre todas las fases del ciclo de vida de los edificios, ya que no únicamente interesa controlar el carbono y la energía operativa, sino también la embebida.

En esta sección, se van a analizar y comparar los impactos del ciclo de vida completo de las dos soluciones de rehabilitación propuestas.

### 6.1. CICLO DE VIDA DE LAS PROPUESTAS DE REHABILITACIÓN ENERGÉTICA

#### 6.1.1. Consideraciones del análisis del ciclo de vida

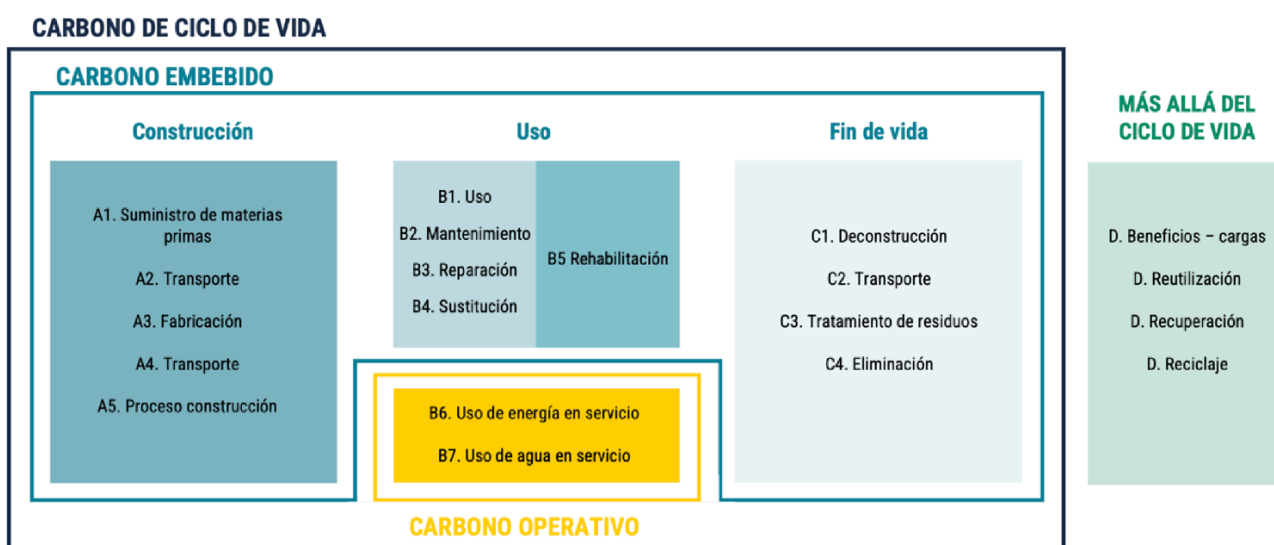


Fig. 74. Etapas del ciclo de vida. Fuente: Hoja de ruta para la descarbonización GBCE Enero 2022

#### ALCANCE Y LÍMITES DEL ANÁLISIS:

En esta sección se analizan las fases A, B y C del ciclo de vida de los materiales utilizados en la rehabilitación de la vivienda (Fig. 74), que se definen a continuación<sup>38</sup>, es decir, aquellas que producen un carbono embebido. La etapa de transporte se calculará en función de

la localización de la industria real considerada en la que se fabrique el material utilizado en la rehabilitación.

#### A. Extracción, Transporte, Fabricación, Transporte a obra, Construcción

<sup>38</sup> Toral. A. Aspectos técnicos del ACV. Green Building Council España.

A1= extracción de materias primas, procesamiento de materiales secundarios provenientes del reciclaje de otros procesos de fabricación.

A2= transporte de materias primas o materiales secundarios a lugar de fabricación.

A3= energía, agua, materiales auxiliares, residuos de fabricación y material de embalaje para asegurar todas las etapas del proceso de fabricación y empaque.

A4= transporte del producto terminado a su destino final de instalación.

A5= combustibles, energía, agua, gestión y transporte de residuos a destino final de revalorización.

### **B. Uso, Mantenimiento, Reparación, Reemplazo, Rehabilitación, Consumo energético en operación, Consumo de agua en operación**

B1= uso del material hasta el final de su vida útil.

B2= incluye impactos por limpieza o mantenimiento preventivo de los componentes que conforman el edificio.

B3= incluye los impactos por el consumo de energía, agua, materiales auxiliares y residuos del proceso de reparación de elementos para alargar su vida útil

B4= incluye los impactos de extracción, transporte a fábrica, fabricación, transporte al edificio de los materiales o equipos que hayan alcanzado el fin de su vida útil.

B5= incluye los impactos resultantes de una rehabilitación parcial por un cambio de uso, o condiciones de confort del edificio o una de sus partes.

B6= incluye los consumos energéticos durante toda la etapa de operación del edificio.

B7= incluye los consumos de agua durante toda la etapa de uso, excluyendo los causados por el mantenimiento, reparación, reemplazo y rehabilitación de alguno de los componentes del edificio.

### **C. Demolición, Transporte**

C1= incluye los trabajos en sitio para la desinstalación, desmantelamiento y demolición de los componentes del edificio, y su clasificación previa a su transporte.

C2= incluye el transporte de los residuos a su destino final.

C3= incluye los impactos del post-procesado de los residuos ya sea para reutilización, reciclaje o revalorización energética de los mismos.

C4= incluye los impactos ambientales de la descomposición de los materiales cuyo destino final es un vertedero.

### **D. Reutilización, Reciclaje y Revalorización**

#### **INDICADORES:**

Los indicadores para el análisis del ciclo de vida que se estudian de cada uno de los materiales utilizados en la rehabilitación y se relacionan en la tabla 8.



**Tabla 8.** Indicadores del ciclo de vida. Fuente: Hoja de ruta para la descarbonización GBCE enero 2022.

| Categoría del impacto                        | Indicador   | Siglas | Unidad (por UF)       |
|--|---|--------|-----------------------|
| Cambio climático                             | Potencial de calentamiento global   | GWP    | kg CO <sub>2</sub> eq |
| Agotamiento del Ozono                        | Potencial de agotamiento de la capa de ozono estratosférica                                 | ODP    | kg CFC 11 eq          |
| Acidificación                                | Potencial de acidificación de suelos y agua   | AP     | kg SO <sub>2</sub> eq |
| Eutrofización                                | Potencial de eutrofización  | EP     | kg PO <sub>4</sub> eq |
| Ozono fotoquímico                            | Potencial de formación de ozono troposférico  | POCP   | kg Ethylene eq        |
| Recursos energéticos primarios no renovables | Uso de energía primaria no renovable, excluyendo los recursos utilizados como materia prima |        | MJ                    |
|  | Uso de recursos energía primaria no renovable utilizados como materia prima                 |        | MJ                    |
|  | Uso de combustibles secundarios no renovables   |        | MJ                    |

### 6.1.2. Herramienta utilizada para el análisis del ciclo de vida

Para analizar los impactos del ciclo de vida de las soluciones se buscaba una herramienta sencilla e intuitiva y que no necesitase de una gran cantidad de datos de partida, puesto que encontrar información sobre productos naturales y locales no es una tarea simple.

La búsqueda de una herramienta de estas características no fue fácil, aunque finalmente se estableció una colaboración con el grupo de investigación ISISE, ARISE, del Departamento de Ingeniería Civil de la Universidade do Minho, en Portugal, que nos facilitó una herramienta desarrollada por ellos y nos asesoró en su utilización.

La herramienta se basa en la Metodología para la Evaluación Relativa de la Sostenibilidad de Soluciones Constructivas (MARS-SC), desarrollada por el investigador Ricardo Mateus <sup>39 40 41 42</sup>. Dicha metodología abarca tres dimensiones: ambiental, funcional y económica. Basándose en el desempeño de cada dimensión, la herramienta indica las opciones más sostenibles para requisitos específicos, permitiendo elegir soluciones constructivas con el mejor equilibrio entre menor impacto ambiental, mejor rendimiento funcional y mejor viabilidad económica.

La metodología se materializa en una herramienta en formato Excel que cuenta con

<sup>39</sup> Mateus, R. Bragança, L. (2009). *Avaliação da Construção Sustentável: Propostas para o Desenvolvimento de Edifícios Mais Sustentáveis*. Ph.D. Thesis, Universidade do Minho, Braga, Portugal.

<sup>40</sup> Mateus, R. Bragança, L. (2011) *Sustainability assessment and rating of buildings: Developing the methodology SBToolPT-H*. Building and Environment.

<sup>41</sup> Cosentino, L. Fernandes, J. Mateus, R. (2024) *Fast-Growing Bio-Based Construction Materials as an Approach to Accelerate United Nations Sustainable Development Goals*. Applied Sciences. <https://doi.org/10.3390/app14114850>

<sup>42</sup> Paula Junior, A.C. Jacinto, C. Oliveira, T.M. Polisseni, A.E. Brum, F.M. Teixeira, E.R. Mateus, R. (2021). *Characterisation and Life Cycle Assessment of Pervious Concrete with Recycled Concrete Aggregates*. Crystals. <https://doi.org/10.3390/cryst11020209>

tablas de cálculo avanzadas y una base de datos personalizable.

Para el presente trabajo, solo se evalúa la dimensión ambiental, por lo que la evaluación de las otras dos dimensiones podría ser fruto de investigación futura.

6.1.3. Datos utilizados para el análisis del ciclo de vida

Utilizando la herramienta descrita en la sección anterior, se van a comparar cuatro soluciones de rehabilitación, puesto que para el correcto funcionamiento de la metodología conviene utilizar un mínimo de cuatro soluciones. La primera es la solución de referencia o convencional a la que se van realizando alteraciones hasta llegar a la cuarta, que es la descrita en apartados anteriores.

Las soluciones tendrán los mismos espesores de los aislamientos para la mejora de las envolventes.

Primero se partirá de la solución convencional descrita en el punto 5.2.2, a la que se irán incorporando soluciones con mejoras utilizando materiales naturales y de proximidad hasta alcanzar la solución descrita en el punto 5.2.1. El objetivo es investigar otras soluciones que no son utilizadas generalmente para conseguir propuestas más sostenibles y a su vez obtener datos cuantificables con las que podamos seleccionar la opción más ecológica con el menor impacto ambiental.

La herramienta MARS-SC necesita para el cálculo de cada uno de los indicadores relacionados en la tabla 8, la masa de material en kg por superficie útil en m².

La superficie útil de la vivienda se reduce debido a que para su rehabilitación energética se colocará el aislamiento por su interior, obteniendo un valor de 91,63 m².

A continuación, se describen cada una de las soluciones implementadas y se realiza la

medición de cada uno de los materiales necesarios para la rehabilitación energética obteniendo los kg/m² necesarios de cada material, teniendo en cuenta los mismos espesores de aislamiento en las cuatro soluciones.

Tabla 9. Superficie útil vivienda teniendo en cuenta su rehabilitación energética. Fuente: Elaboración propia.

| Estancia     | Superficie |
|--------------|------------|
| Salón        | 14,66 m²   |
| Baño         | 5,13 m²    |
| Cocina       | 12,04 m²   |
| Despacho     | 12,76 m²   |
| Dormitorio 1 | 11,52 m²   |
| Dormitorio 2 | 4,92 m²    |
| Dormitorio 3 | 11,88 m²   |
| Pasillo      | 10,43 m²   |
| Escalera     | 8,29 m²    |
| TOTAL        | 91,63 m²   |

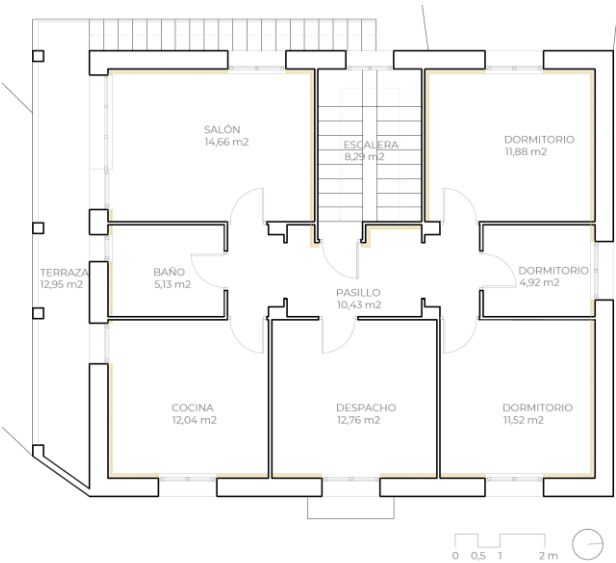


Fig. 75. Planta primera de la vivienda rehabilitada. Fuente: Elaboración propia.

## SOLUCIÓN 1: REHABILITACIÓN ENERGÉTICA CONVENCIONAL

**Aislamiento de la fachada:** Lana de roca de 8 cm de espesor con barrera de vapor entre montantes de acero laminado a los que se fijarán placas de yeso laminado de 13 mm de espesor.

**Aislamiento de la falsa:** Se instalarán mantas de lana de roca con barrera de vapor de 6 cm de espesor.

**Aislamiento forjado techo planta baja.** Se proyectará como aislante 4 cm de poliuretano

proyectado y se instalará un falso techo de placas de yeso laminado colocadas sobre perfilera de acero laminado en la cochera.

**Carpinterías de aluminio.** Se sustituirán la totalidad de las carpinterías de madera por nuevas carpinterías de aluminio con rotura de puente térmico y con vidrios dobles con cámara de gas argón.

**Tabla 10.** Medición de materiales de la solución 1 para la rehabilitación energética por kg/m<sup>2</sup> de superficie útil de la vivienda caso de estudio. Fuente: Elaboración propia.

| Material                  | Medición                          | Densidad/<br>peso       | Espesor | Kg totales | Kg/m <sup>2</sup><br>útiles |
|---------------------------|-----------------------------------|-------------------------|---------|------------|-----------------------------|
| Lana de roca              | Trasdosado: 109,60 m <sup>2</sup> | 40 kg/m <sup>3</sup>    | 0,08 m  | 350,73 kg  | 6,21 kg/m <sup>2</sup>      |
|                           | Falsa: 90,86 m <sup>2</sup>       |                         | 0,06 m  | 218,06 kg  |                             |
| Poliuretano proyectado    | 89,62 m <sup>2</sup>              | 35 kg/m <sup>3</sup>    | 0,04 m  | 125,47 kg  | 1,37 kg/m <sup>2</sup>      |
| Perfilería acero laminado | Trasdosado: 109,60 m              | 0,5 kg/m                | -       | 54,80 kg   | 0,7 kg/m <sup>2</sup>       |
|                           | Falso techo: 18,2 m               |                         |         | 9,08 kg    |                             |
| Placas de yeso laminado   | 34,58 m <sup>2</sup>              | 800 kg/m <sup>3</sup>   | 0,013 m | 359,58 kg  | 3,92 kg/m <sup>2</sup>      |
| Carpintería de aluminio   | 22,33 m <sup>2</sup>              | 10 kg/ m <sup>2</sup>   | -       | 223,34 kg  | 2,44 kg/m <sup>2</sup>      |
| Vidrios carpinterías      | 22,33 m <sup>2</sup>              | 2.200 kg/m <sup>3</sup> | 0,012 m | 589,62 kg  | 6,43 kg/m <sup>2</sup>      |

## SOLUCIÓN 2: REHABILITACIÓN ENERGÉTICA CONVENCIONAL INCORPORANDO AISLAMIENTOS NATURALES Y DE PROXIMIDAD

**Aislamiento de la fachada:** Placas de fibra textil reciclada de 8 cm de espesor con barrera de vapor entre montantes de acero laminado a los que se fijarán placas de yeso laminado de 13 mm de espesor.

**Aislamiento de la falsa:** Se instalará un aislamiento de yeso-paja de 6 cm sobre barrera de vapor.

**Aislamiento forjado techo planta baja.** Se proyectará como aislante 4 cm de celulosa

proyectada y se instalará un falso techo de placas de yeso laminado colocadas sobre perfilería de acero laminado en la cochera.

**Carpinterías de aluminio.** Se sustituirán la totalidad de las carpinterías de madera por nuevas carpinterías de aluminio con rotura de puente térmico y con vidrios dobles con cámara de gas argón.

**Tabla 11.** Medición de materiales de la solución 2 para la rehabilitación energética por kg/m<sup>2</sup> de superficie útil de la vivienda caso de estudio. Fuente: Elaboración propia.

| Material                  | Medición                          | Densidad/<br>peso       | Espesor | Kg totales  | Kg/m <sup>2</sup><br>útiles |
|---------------------------|-----------------------------------|-------------------------|---------|-------------|-----------------------------|
| Fibra textil reciclada    | 109,60 m <sup>2</sup>             | 30 kg/m <sup>3</sup>    | 0,08 m  | 263,04 kg   | 2,87 kg/m <sup>2</sup>      |
| Aislamiento yeso-paja     | 90,86 m <sup>2</sup>              | 25 kg/m <sup>3</sup>    | 0,06 m  | 136,29 kg   | 1,49 kg/m <sup>2</sup>      |
| Celulosa proyectada       | 89,62 m <sup>2</sup>              | 45 kg/m <sup>3</sup>    | 0,04 m  | 161,32 kg   | 1,76 kg/m <sup>2</sup>      |
| Perfilería acero laminado | Trasdosado: 109,60 m              | 0,5 kg/m                | -       | 54,80 kg    | 0,7 kg/m <sup>2</sup>       |
|                           | Falso techo: 18,2 m               |                         |         | 9,08 kg     |                             |
| Placas de yeso laminado   | Trasdosado: 109,60 m <sup>2</sup> | 800 kg/m <sup>3</sup>   | 0,013 m | 1.139,86 kg | 16,36 kg/m <sup>2</sup>     |
|                           | Falso techo: 34,58 m <sup>2</sup> |                         |         | 359,58 kg   |                             |
| Carpintería de aluminio   | 22,33 m <sup>2</sup>              | 10 kg/ m <sup>2</sup>   | -       | 223,34 kg   | 2,44 kg/m <sup>2</sup>      |
| Vidrios carpinterías      | 22,33 m <sup>2</sup>              | 2.200 kg/m <sup>3</sup> | 0,012 m | 589,62 kg   | 6,43 kg/m <sup>2</sup>      |



SOLUCIÓN 3: REHABILITACIÓN ENERGÉTICA CONVENCIONAL SUSTITUYENDO EL ACERO Y ALUMINIO POR MADERA

**Aislamiento de la fachada:** Lana de roca de 8 cm de espesor con barrera de vapor entre montantes de madera a los que se fijarán placas de yeso laminado de 13 mm de espesor.

**Aislamiento de la falsa:** Se instalarán mantas de lana de roca con barrera de vapor de 6 cm de espesor.

**Aislamiento forjado techo planta baja.** Se proyectará como aislante 4 cm de poliuretano

proyectado y se instalará un falso techo de placas de yeso laminado colocadas sobre rastreles de madera en la cochera.

**Carpinterías de madera.** Se sustituirán las carpinterías de la fachada sur por carpinterías de madera y resto se conservarán. Se sustituirán los vidrios de todas las carpinterías por vidrios dobles con cámara de gas argón.

**Tabla 12.** Medición de materiales de la solución 3 para la rehabilitación energética por kg/m² de superficie útil de la vivienda caso de estudio. Fuente: Elaboración propia.

| Material                                      | Medición              | Densidad/<br>peso | Espesor | Kg totales  | Kg/m²<br>útiles |
|---|-----------------------|-------------------|---------|-------------|-----------------|
| Lana de roca                                  | Trasdosado: 109,60 m² | 40 kg/m³          | 0,08 m  | 350,73 kg   | 6,21 kg/m²      |
|   | Falsa: 90,86 m²       |                   | 0,06 m  | 218,06 kg   |                 |
| Poliuretano proyectado                        | 89,62 m²              | 35 kg/m³          | 0,04 m  | 125,47 kg   | 1,37 kg/m²      |
| Montantes, rastreles y carpinterías de madera | Trasdosado: 1,77 m²   | 600 kg/m³         | -       | 1.063,22 kg | 21,39 kg/m²     |
|   | Falso techo: 0,24 m²  |                   |         | 143,44 kg   |                 |
|   | Carpintería: 1,25 m²  |                   |         | 753,26 kg   |                 |
| Placas de yeso laminado                       | 34,58 m²              | 800 kg/m³         | 0,013 m | 359,58 kg   | 3,92 kg/m²      |
| Vidrios carpinterías                          | 22,33 m²              | 2.200 kg/m³       | 0,012 m | 589,62 kg   | 6,43 kg/m²      |

## SOLUCIÓN 4: REHABILITACIÓN ENERGÉTICA UTILIZANDO ÚNICAMENTE MATERIALES NATURALES Y DE PROXIMIDAD

**Aislamiento de la fachada:** Placas de fibra textil reciclada de 8 cm de espesor con barrera de vapor entre montantes de madera a los que se fijarán placas de arcilla de 20 mm de espesor.

**Aislamiento de la falsa:** Se instalará un aislamiento de yeso-paja de 6 cm sobre barrera de vapor.

**Aislamiento forjado techo planta baja.** Se proyectará como aislante 4 cm de celulosa

proyectada y se instalará un falso techo de placas de yeso laminado colocadas sobre rastreles de madera en la cochera.

**Carpinterías de madera.** Se sustituirán las carpinterías de la fachada sur por carpinterías de madera y resto se conservarán. Se sustituirán los vidrios de todas las carpinterías por vidrios dobles con cámara de gas argón.

**Tabla 13.** Medición de materiales de la solución 4 para la rehabilitación energética por kg/m<sup>2</sup> de superficie útil de la vivienda caso de estudio. Fuente: Elaboración propia.

| Material                                      | Medición                          | Densidad/<br>peso       | Espesor | Kg totales  | Kg/m <sup>2</sup><br>útiles |
|---|-----------------------------------|-------------------------|---------|-------------|-----------------------------|
| Fibra textil reciclada                        | 109,60 m <sup>2</sup>             | 30 kg/m <sup>3</sup>    | 0,08 m  | 263,04 kg   | 2,87 kg/m <sup>2</sup>      |
| Aislamiento yeso-paja                         | 90,86 m <sup>2</sup>              | 25 kg/m <sup>3</sup>    | 0,06 m  | 136,29 kg   | 1,49 kg/m <sup>2</sup>      |
| Celulosa proyectada                           | 89,62 m <sup>2</sup>              | 45 kg/m <sup>3</sup>    | 0,04 m  | 161,32 kg   | 1,76 kg/m <sup>2</sup>      |
| Placas de arcilla                             | 109,60 m <sup>2</sup>             | 32 kg/m <sup>3</sup>    | 0,02 m  | 70,15 kg    | 0,77 kg/m <sup>2</sup>      |
| Montantes, rastreles y carpinterías de madera | Trasdosado: 1,77 m <sup>2</sup>   | 600 kg/m <sup>3</sup>   | -       | 1.063,22 kg | 21,39 kg/m <sup>2</sup>     |
|   | Falso techo: 0,24 m <sup>2</sup>  |                         |         | 143,44 kg   |                             |
|   | Carpintería: 1,25 m <sup>2</sup>  |                         |         | 753,26 kg   |                             |
| Placas de yeso laminado                       | Falso techo: 34,58 m <sup>2</sup> | 800 kg/m <sup>3</sup>   | 0,013 m | 359,58 kg   | 3,92 kg/m <sup>2</sup>      |
| Vidrios carpinterías                          | 22,33 m <sup>2</sup>              | 2.200 kg/m <sup>3</sup> | 0,012 m | 589,62 kg   | 6,43 kg/m <sup>2</sup>      |

Una vez se tienen las mediciones de las propuestas, se deben obtener los datos relativos a los materiales utilizados.

Dichos datos se extraen de las declaraciones ambientales de los productos (DAP) utilizados para rehabilitación y de la base de datos de la herramienta MARS-SC. En el caso de productos utilizados que no dispongan de DAP, -como por ejemplo placas de arcilla- se escogen los datos de materiales similares.

Para el cálculo de los indicadores señalados en la tabla 8, en la etapa de transporte del producto terminado a su destino final de

instalación (A4), se ha calculado su impacto real en función de los kilómetros reales desde la industria a la obra.

Por ejemplo, para el caso de la celulosa proyectada la distancia media de transporte desde la producción hasta la obra es de 380 km según la DAP. En nuestro caso la industria de producción está a 140 km (Aislanat) de la obra, por ello la etapa A4 se multiplica por 0,368 (que es el resultado de 140/380 km) reduciendo su impacto en todos los indicadores (Tablas 15 y 16).

**Tabla 14.** Datos de impactos por kilogramo de materiales utilizados en la rehabilitación energética. Fuente: Elaboración propia.

| Tipo de material  | Impactos por kg de material    |                       |                             |                          |                               |               |
|---|--------------------------------|-----------------------|-----------------------------|--------------------------|-------------------------------|---------------|
|   | GWP<br>(kg CO <sub>2</sub> eq) | ODP<br>(kg CFC-11 eq) | AP<br>(Kg SO <sub>2</sub> ) | POCP<br>(Kg ethylene-eq) | EP<br>(kg PO <sub>4</sub> eq) | EE_NR<br>(MJ) |
| Fibra textil reciclada  | 1,96E+00                       | 2,12E-07              | 7,83E-03                    | 5,46E-04                 | 1,41E-03                      | 4,15E+01      |
| Celulosa proyectada   | -1,10E-01                      | -8,54E-09             | 5,18E-04                    | 8,15E-05                 | 2,50E-04                      | -1,15E+00     |
| Aislamiento de yeso-paja  | 6,10E-02                       | 2,08E-09              | 8,64E-05                    | 3,91E-06                 | 1,31E-05                      | 3,26E-01      |
| Placas de arcilla   | 2,20E-01                       | 1,58E-08              | 5,48E-04                    | 4,00E-05                 | 6,71E-05                      | 2,58E+00      |
| Madera  | -1,20E+00                      | 1,28E-08              | 8,05E-04                    | 7,29E-05                 | 1,29E-04                      | 1,98E+00      |
| Vidrios   | 9,73E-01                       | 8,01E-08              | 8,51E-03                    | 2,86E-04                 | 6,53E+04                      | 1,15E+01      |
| Placas de yeso laminado   | 3,50E-01                       | 3,89E-08              | 1,09E-03                    | 4,69E-05                 | 1,73E-04                      | 5,74E+00      |
| Lana de roca  | 1,46E+00                       | 6,10E-08              | 8,32E-03                    | 9,28E-04                 | 4,46E-04                      | 2,16E+01      |
| Poliuretano proyectado  | 4,26E+00                       | 1,89E-08              | 1,77E-02                    | 2,05E-03                 | 2,75E-03                      | 1,00E+02      |
| Perfilería acero  | 5,71E-01                       | 5,40E-08              | 3,04E-03                    | 1,85E-04                 | 4,86E-04                      | 8,66E+00      |
| Aluminio para carpinterías  | 4,28E+00                       | 1,84E-06              | 3,80E-02                    | 2,23E-03                 | 1,21E-03                      | 6,82E+01      |
| GWP: Potencial de calentamiento global (kg CO <sub>2</sub> eq)<br>ODP: Potencial de agotamiento de la capa de ozono estratosférica (kg CFC 11 eq)<br>AP: Potencial de acidificación de suelos y agua (kg SO <sub>2</sub> eq)<br>POCP: Potencial de formación de ozono troposférico (kg Ethylene eq)<br>EP: Potencial de eutrofización (kg PO <sub>4</sub> eq)<br>EE_NR: Recursos energéticos primarios no renovables (MJ) |                                |                       |                             |                          |                               |               |

**Tabla 15.** Resultados de la evaluación del ciclo de vida de productos aislantes de celulosa para 1 kg de producto con densidad media de 45 kg/m<sup>3</sup>. Fuente: Declaración Ambiental de Producto para aislamientos de celulosa según la Asociación Europea de Aislamiento de Celulosa (ECIA).

| Impactos   | A1        | A2       | A3       | A4       | A5        | B1-7     | C1       | C2       | C3       | C4       | D         |
|--|-----------|----------|----------|----------|-----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|
| Potencial de acidificación de suelos y agua ( <b>AP</b> )                  | 7,58E-04  | 1,24E-04 | 1,93E-04 | 2,79E-04 | 2,01E-05  | 0,00E+00 | 2,94E-05 | 5,60E-05 | 0,00E+00 | 1,39E-04 | -9,04E-04 |
| Potencial de agotamiento de la capa de ozono estratosférica ( <b>ODP</b> ) | 1,27E-08  | 2,73E-10 | 6,77E-09 | 1,78E-10 | -1,17E-10 | 0,00E+00 | 7,18E-10 | 2,40E-11 | 0,00E+00 | 2,33E-09 | -3,13E-08 |
| Potencial de calentamiento global ( <b>GWP</b> )                           | -1,30E+00 | 2,10E-02 | 6,49E-02 | 5,86E-02 | 1,82E-02  | 0,00E+00 | 3,76E-03 | 1,18E-02 | 0,00E+00 | 1,32E+00 | -2,71E-01 |
| Potencial de eutrofización ( <b>EP</b> )                                   | 7,98E-05  | 2,41E-05 | 2,96E-05 | 6,29E-05 | 9,13E-06  | 0,00E+00 | 6,38E-06 | 1,29E-05 | 0,00E+00 | 1,68E-04 | -1,03E-04 |
| Potencial de formación de ozono troposférico ( <b>POCP</b> )               | 2,90E-05  | 7,63E-06 | 1,17E-05 | 1,97E-05 | 3,48E-06  | 0,00E+00 | 7,05E-07 | 4,03E-06 | 0,00E+00 | 6,23E-05 | -4,46E-05 |
| Recursos energéticos primarios no renovables ( <b>EE_NR</b> )              | 6,82E-02  | 4,05E-04 | 6,89E-01 | 1,11E-03 | -4,30E-03 | 0,00E+00 | 1,01E-04 | 2,23E-04 | 0,00E+00 | 3,33E-02 | -6,31E-01 |

**Tabla 16.** Comparación de resultados de impactos para 1 kg de aislante de celulosa según Declaración Ambiental de Producto y reduciendo el impacto de la etapa de transporte (A4). Fuente: Elaboración propia.

|   | <b>GWP</b><br>(kg CO <sub>2</sub> eq) | <b>ODP</b><br>(kg CFC-11 eq) | <b>AP</b><br>(Kg SO <sub>2</sub> ) | <b>POCP</b><br>(Kg ethylene-eq) | <b>EP</b><br>(kg PO <sub>4</sub> eq) | <b>EE_NR</b><br>(MJ) |
|---|---------------------------------------|------------------------------|------------------------------------|---------------------------------|--------------------------------------|----------------------|
| Suma de etapas (A+B+C+D) según Declaración Ambiental de Producto (tabla 14) | -7,27E-02                             | -8,42E-09                    | 6,95E-04                           | 9,39E-05                        | 2,90E-04                             | -6,33E-01            |
| Suma de etapas reduciendo el impacto de la A4 (A1+A2+A3+A4*0,368+B+C+D)     | -1,10E-01                             | -8,54E-09                    | 5,18E-04                           | 8,15E-05                        | 2,50E-04                             | -1,15E+00            |

Si analizamos lo que supone la reducción de la etapa de transporte en un producto como la celulosa, se observa que en muchos de los impactos los valores son similares, siendo la reducción más significativa en la energía primaria no renovable (EE\_NR en MJ).

Con los datos obtenidos para cada solución teniendo en cuenta los materiales necesarios (calculados en Kg/m<sup>2</sup> útil) y conociendo los impactos de cada material por kg, introducimos los datos de cada solución en la herramienta MARS-SC.



SOLUCIÓN 1: REHABILITACIÓN ENERGÉTICA CONVENCIONAL

Tabla 17. Impactos por kg/m² útil para la solución 1. Fuente: Elaboración propia con ayuda de la herramienta MARS-SC.

|                            |               | Impactos por QT (kg/m²) |                       |                |                          |                   |               |
|----------------------------|---------------|-------------------------|-----------------------|----------------|--------------------------|-------------------|---------------|
| Tipo de material           | QT<br>(kg/m²) | GWP<br>(kg CO₂ eq)      | ODP<br>(kg CFC-11 eq) | AP<br>(Kg SO₂) | POCP<br>(Kg ethylene-eq) | EP<br>(kg PO₄ eq) | EE_NR<br>(MJ) |
| Lana de roca               | 6,21          | 9,07E+00                | 3,79E-07              | 5,17E-02       | 5,76E-03                 | 2,77E-03          | 1,34E+02      |
| Poliuretano proyectado     | 1,37          | 5,84E+00                | 2,59E-08              | 2,42E-02       | 2,81E-03                 | 3,77E-03          | 1,37E+02      |
| Placas de yeso laminado    | 16,36         | 5,73E+00                | 6,36E-07              | 1,78E-02       | 7,67E-04                 | 2,83E-03          | 9,39E+01      |
| Perfilería acero           | 0,70          | 4,00E-01                | 3,78E-08              | 2,13E-03       | 1,30E-04                 | 3,40E-04          | 6,06E+00      |
| Aluminio para carpinterías | 2,44          | 1,04E+01                | 4,49E-06              | 9,27E-02       | 5,44E-03                 | 2,95E-03          | 1,66E+02      |
| Vidrios                    | 6,43          | 6,26E+00                | 5,15E-07              | 5,47E-02       | 1,84E-03                 | 4,20E+05          | 7,39E+01      |
| TOTAL                      |               | 3,77E+01                | 6,08E-06              | 2,43E-01       | 1,67E-02                 | 4,20E+05          | 6,11E+02      |

SOLUCIÓN 2: REHABILITACIÓN ENERGÉTICA CONVENCIONAL INCORPORANDO AISLAMIENTOS NATURALES Y DE PROXIMIDAD

Tabla 18. Impactos por kg/m² útil para la solución 2. Fuente: Elaboración propia con ayuda de la herramienta MARS-SC.

|                                    |               | Impactos por QT (kg/m²) |                       |                |                          |                   |               |
|------------------------------------|---------------|-------------------------|-----------------------|----------------|--------------------------|-------------------|---------------|
| Tipo de material                   | QT<br>(kg/m²) | GWP<br>(kg CO₂ eq)      | ODP<br>(kg CFC-11 eq) | AP<br>(Kg SO₂) | POCP<br>(Kg ethylene-eq) | EP<br>(kg PO₄ eq) | EE_NR<br>(MJ) |
| Fibra textil reciclada (Geopannel) | 2,87          | 5,61E+00                | 6,07E-07              | 2,25E-02       | 1,57E-03                 | 4,04E-03          | 1,19E+02      |
| Celulosa proyectada (Aislanat)     | 1,76          | -1,93E-01               | -1,50E-08             | 9,12E-04       | 1,43E-04                 | 4,40E-04          | -2,03E+00     |
| Aislamiento de yeso-paja           | 1,49          | 9,09E-02                | 3,10E-09              | 1,29E-04       | 5,83E-06                 | 1,95E-05          | 4,86E-01      |
| Placas de yeso laminado            | 16,36         | 5,73E+00                | 6,36E-07              | 1,78E-02       | 7,67E-04                 | 2,83E-03          | 9,39E+01      |
| Perfilería acero                   | 0,70          | 4,00E-01                | 3,78E-08              | 2,13E-03       | 1,30E-04                 | 3,40E-04          | 6,06E+00      |
| Aluminio para carpinterías         | 2,44          | 1,04E+01                | 4,49E-06              | 9,27E-02       | 5,44E-03                 | 2,95E-03          | 1,66E+02      |
| Vidrios                            | 6,43          | 6,26E+00                | 5,15E-07              | 5,47E-02       | 1,84E-03                 | 4,20E+05          | 7,39E+01      |
| TOTAL                              |               | 2,83E+01                | 6,27E-06              | 1,91E-01       | 9,89E-03                 | 4,20E+05          | 4,58E+02      |

SOLUCIÓN 3: REHABILITACIÓN ENERGÉTICA CONVENCIONAL SUSTITUYENDO EL ACERO Y ALUMINIO POR MADERA

Tabla 19. Impactos por kg/m² útil para la solución 3. Fuente: Elaboración propia con ayuda de la herramienta MARS-SC.

|  |               | Impactos por QT (kg/m²) |                       |                |                          |                   |               |
|--|---------------|-------------------------|-----------------------|----------------|--------------------------|-------------------|---------------|
| Tipo de material                           | QT<br>(kg/m²) | GWP<br>(kg CO₂ eq)      | ODP<br>(kg CFC-11 eq) | AP<br>(Kg SO₂) | POCP<br>(Kg ethylene-eq) | EP<br>(kg PO₄ eq) | EE_NR<br>(MJ) |
| Lana de roca                               | 6,21          | 9,07E+00                | 3,79E-07              | 5,17E-02       | 5,76E-03                 | 2,77E-03          | 1,34E+02      |
| Poliuretano proyectado                     | 1,37          | 5,84E+00                | 2,59E-08              | 2,42E-02       | 2,81E-03                 | 3,77E-03          | 1,37E+02      |
| Placas de yeso laminado                    | 16,36         | 5,73E+00                | 6,36E-07              | 1,78E-02       | 7,67E-04                 | 2,83E-03          | 9,39E+01      |
| Madera (montantes, rastreles, carpintería) | 21,39         | -2,57E+01               | 2,74E-07              | 1,72E-02       | 1,56E-03                 | 2,76E-03          | 4,24E+01      |
| Vidrios                                    | 6,43          | 6,26E+00                | 5,15E-07              | 5,47E-02       | 1,84E-03                 | 4,20E+05          | 7,39E+01      |
| TOTAL                                      |               | 1,22E+00                | 1,83E-06              | 1,66E-01       | 1,27E-02                 | 4,20E+05          | 4,81E+02      |

SOLUCIÓN 4: REHABILITACIÓN ENERGÉTICA UTILIZANDO ÚNICAMENTE MATERIALES NATURALES Y DE PROXIMIDAD

Tabla 20. Impactos por kg/m² útil para la solución 4. Fuente: Elaboración propia con ayuda de la herramienta MARS-SC.

| Tipo de material                           | QT<br>(kg/m²) | Impactos por QT (kg/m²)        |                       |                             |                          |                               |               |
|--|---------------|--------------------------------|-----------------------|-----------------------------|--------------------------|-------------------------------|---------------|
|  |               | GWP<br>(kg CO <sub>2</sub> eq) | ODP<br>(kg CFC-11 eq) | AP<br>(Kg SO <sub>2</sub> ) | POCP<br>(Kg ethylene-eq) | EP<br>(kg PO <sub>4</sub> eq) | EE_NR<br>(MJ) |
| Fibra textil reciclada (Geopannel)         | 2,87          | 5,61E+00                       | 6,07E-07              | 2,25E-02                    | 1,57E-03                 | 4,04E-03                      | 1,19E+02      |
| Celulosa proyectada (Aislanat)             | 1,76          | -1,93E-01                      | -1,50E-08             | 9,12E-04                    | 1,43E-04                 | 4,40E-04                      | -2,03E+00     |
| Aislamiento de yeso-paja                   | 1,49          | 9,09E-02                       | 3,10E-09              | 1,29E-04                    | 5,83E-06                 | 1,95E-05                      | 4,86E-01      |
| Placas de arcilla (Ecoclay)                | 0,77          | 1,69E-01                       | 1,22E-08              | 4,22E-04                    | 3,08E-05                 | 5,17E-05                      | 1,99E+00      |
| Madera (montantes, rastreles, carpintería) | 21,39         | -2,57E+01                      | 2,74E-07              | 1,72E-02                    | 1,56E-03                 | 2,76E-03                      | 4,24E+01      |
| Vidrios                                    | 6,43          | 6,26E+00                       | 5,15E-07              | 5,47E-02                    | 1,84E-03                 | 4,20E+05                      | 7,39E+01      |
| Placas de yeso laminado                    | 3,92          | 1,37E+00                       | 1,52E-07              | 4,27E-03                    | 1,84E-04                 | 6,78E-04                      | 2,25E+01      |
| TOTAL                                      |               | -1,24E+01                      | 1,55E-06              | 1,00E-01                    | 5,33E-03                 | 4,20E+05                      | 2,58E+02      |

RESUMEN DEL POTENCIAL DE IMPACTO AMBIENTAL DE LAS SOLUCIONES

En la Tabla 21 se muestran los resultados totales desglosados por impactos obtenidos a través de la herramienta.

Tabla 21. Resumen de impactos totales por kg/m² útil para las cuatro soluciones. Fuente: Elaboración propia con ayuda de la herramienta MARS-SC.

| Soluciones | GWP<br>(kg CO <sub>2</sub> eq) | ODP<br>(kg CFC-11 eq) | AP<br>(Kg SO <sub>2</sub> ) | POCP<br>(Kg ethylene-eq) | EP<br>(kg PO <sub>4</sub> eq) | EE_NR<br>(MJ) |
|------------|--------------------------------|-----------------------|-----------------------------|--------------------------|-------------------------------|---------------|
| Solución 1 | 3,77E+01                       | 6,08E-06              | 2,43E-01                    | 1,67E-02                 | 4,20E+05                      | 6,11E+02      |
| Solución 2 | 2,83E+01                       | 6,27E-06              | 1,91E-01                    | 9,89E-03                 | 4,20E+05                      | 4,58E+02      |
| Solución 3 | 1,22E+00                       | 1,83E-06              | 1,66E-01                    | 1,27E-02                 | 4,20E+05                      | 4,81E+02      |
| Solución 4 | -1,24E+01                      | 1,55E-06              | 1,00E-01                    | 5,33E-03                 | 4,20E+05                      | 2,58E+02      |

Sin embargo, la metodología MARS-SC considera que no todos los impactos son igual de relevantes en cuanto al perjuicio que realizan al planeta, por lo que aplica una ponderación (Tabla 22). Según esta ponderación, el potencial de calentamiento global (GWP) tiene un peso mucho mayor que el resto de los impactos, seguido del potencial de formación de ozono troposférico (POCP).

Tabla 22. Ponderación de cada indicador ambiental. Fuente: Herramienta MARS-SC.

| Categorías Impactos | Ponderación de cada indicador ambiental |                            |
|---------------------|---|----------------------------|
|                     | Peso atribuido al impacto               | Peso calculado del impacto |
| GWP                 | 16                                      | 38,10                      |
| AP                  | 5                                       | 11,90                      |
| EP                  | 5                                       | 11,90                      |
| ODP                 | 5                                       | 11,90                      |
| POCP                | 6                                       | 14,29                      |
| EE_NR               | 5                                       | 11,90                      |
| Total               | 42                                      | 100,00                     |

Una vez ponderados los impactos, se identifican la mejor y la peor solución (Tabla 23).

**Tabla 23.** Solución mejor y peor respecto de los impactos totales por kg/m². Fuente: Elaboración propia con ayuda de la herramienta MARS-SC.

| Soluciones               | GWP<br>(kg CO <sub>2</sub> eq) | ODP<br>(kg CFC-11 eq) | AP<br>(Kg SO <sub>2</sub> ) | POCP<br>(Kg ethylene-eq) | EP<br>(kg PO <sub>4</sub> eq) | EE_NR<br>(MJ) |
|--------------------------|--------------------------------|-----------------------|-----------------------------|--------------------------|-------------------------------|---------------|
| Mejor valor (solución 4) | -1,24E+01                      | 1,55E-06              | 1,00E-01                    | 5,33E-03                 | 4,20E+05                      | 2,58E+02      |
| Peor valor (solución 1)  | 3,77E+01                       | 6,27E-06              | 2,43E-01                    | 1,67E-02                 | 4,20E+05                      | 6,11E+02      |

Finalmente, la herramienta MARS-SC normaliza los impactos de todas las soluciones y les atribuye una nota de desempeño ambiental que va de 1 para la mejor solución a 0 para la peor (Tabla 24).

**Tabla 24.** Estandarización y determinación de la puntuación ambiental de las soluciones. Fuente: Elaboración propia con ayuda de la herramienta MARS-SC.

| Soluciones | GWP<br>(kg CO <sub>2</sub> eq) | ODP<br>(kg CFC-11 eq) | AP<br>(Kg SO <sub>2</sub> ) | POCP<br>(Kg ethylene-eq) | EP<br>(kg PO <sub>4</sub> eq) | EE_NR<br>(MJ) | PUNTUACIÓN AMBIENTAL TOTAL<br>1 MEJOR<br>0 PEOR |
|------------|--------------------------------|-----------------------|-----------------------------|--------------------------|-------------------------------|---------------|---|
| Solución 1 | 0,00                           | 0,04                  | 0,00                        | 0,00                     | 0,00                          | 0,00          | 0,005   |
| Solución 2 | 0,19                           | 0,00                  | 0,37                        | 0,60                     | 0,44                          | 0,43          | 0,304   |
| Solución 3 | 0,73                           | 0,94                  | 0,54                        | 0,35                     | 0,11                          | 0,37          | 0,562   |
| Solución 4 | 1,00                           | 1,00                  | 1,00                        | 1,00                     | 1,00                          | 1,00          | 1,000   |

Desde el punto de vista ambiental la solución 4, que se basa por completo en el empleo de materiales naturales y de proximidad, es la mejor.

## 6.2. COMPORTAMIENTO ENERGÉTICO DE LAS PROPUESTAS DE REHABILITACIÓN ENERGÉTICA

En esta sección, se va a analizar la fase B6 del ciclo de vida, es decir, que se va a considerar la fase de uso del edificio.

Se analiza el comportamiento energético de la propuesta de rehabilitación con materiales naturales y de proximidad descrita en el punto 5.2.1. (solución 4) y parámetros a considerar en la tabla 25, con respecto a la rehabilitación sin perspectiva de ciclo de vida descrita en el punto 5.2.2. (solución 1) y parámetros a considerar en la tabla 26. Es importante indicar que las dos propuestas tienen los mismos espesores de aislamiento y que no se han contemplado medidas para la mejora de las instalaciones para poder comparar los distintos escenarios con su estado actual, únicamente mejorando la envolvente.

Además, no se modifican los puentes térmicos respecto del estado inicial de la vivienda, considerando que van a existir, debido a que se aísla la vivienda por su interior (en este trabajo no se considera su rehabilitación integral y la modificación de la distribución interior).

La vivienda parte de una letra E para la calificación energética, un consumo de energía primaria no renovable de 260,1 kWh/m<sup>2</sup> año y unas emisiones de dióxido de carbono de 48,3 kgCO<sub>2</sub>/ m<sup>2</sup> año.

Con las medidas de rehabilitación planteadas con criterios de sostenibilidad y proximidad (solución 4) obtenemos una letra C para la calificación energética, un consumo de energía primaria no renovable de 140,2 kWh/m<sup>2</sup> año y unas emisiones de dióxido de carbono de 26,7 kgCO<sub>2</sub>/ m<sup>2</sup> año (ver Anexo III). Esto supone una mejora de 2 letras en la calificación energética, una reducción del 46,10 % del consumo de energía primaria y del 44,72 % de las emisiones de dióxido de carbono.

Con la rehabilitación energética convencional (solución 1) se obtiene también una letra C para la calificación energética, un consumo de energía primaria de 141,1 kWh/m<sup>2</sup> y unas emisiones de dióxido de carbono de 26,9 kgCO<sub>2</sub>/ m<sup>2</sup> año (ver Anexo IV). Esto supone también una mejora de 2 letras en la calificación energética, una reducción del 45,63 % del consumo de energía primaria y del 44,30 % de las emisiones de dióxido de carbono.

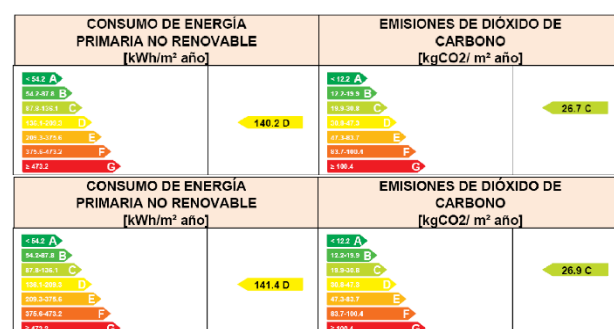


Fig. 76. Calificación energética obtenida con la solución 4 y con la solución 1. Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar, el comportamiento energético de las dos propuestas es muy similar, no obstante, la realizada con materiales naturales y de proximidad es sensiblemente mejor (46,10 % de reducción del consumo de energía no renovable frente al 45,63 %). Si analizamos la transmitancia térmica de la envolvente, observamos que prácticamente tienen los mismos valores, las diferencias se aprecian principalmente en el aislamiento de la falsa (yeso-paja frente a lana de roca) y en las carpinterías (madera frente a aluminio con RPT).

Con ello se demuestra que la utilización de materiales naturales y de proximidad para la rehabilitación energética no solo no perjudica desde el punto de vista de la demanda y el consumo energético de la vivienda, sino que ofrece incluso mejores resultados que una solución de rehabilitación energética convencional.



**Tabla 25.** Parámetros a considerar para la elaboración del CEE de la propuesta de rehabilitación energética con materiales naturales y de proximidad. Fuente: elaboración propia con datos de fabricantes y Catalogo de elementos constructivos del CTE.

| Elemento   | Sistema constructivo / tipo de instalación  | Transmitancia térmica (W / m <sup>2</sup> ·K) | Transmitancia térmica máxima * <sup>1</sup> (W / m <sup>2</sup> ·K) |
|--|---|---|---|
| Fachada  | Mortero de cemento – 2 cm<br>Bloques de adobe – 40 cm<br>Enlucido de yeso – 2 cm<br>Fibra textil reciclada – 8 cm<br>Placa de arcilla – 2 cm                    | 0,33  | 0,41  |
| Partición vertical en contacto con espacios no habitables (tabique escalera)   | Enlucido de yeso – 1,5 cm<br>Ladrillo hueco sencillo – 4 cm<br>Enlucido de yeso – 1,5 cm<br>Fibra textil reciclada – 8 cm<br>Placa de arcilla- 2 cm             | 0,35  | 0,65  |
| Partición horizontal en contacto con espacios no habitables inferior (forjado) | Baldosa hidráulica – 2 cm<br>Recrecido mortero – 2 cm<br>Cañizo – 4 cm<br>Enlucido de yeso – 2 cm<br>Celulosa proyectada – 4 cm<br>Placa yeso laminado – 1,3 cm | 0,36  | 0,65  |
| Partición horizontal en contacto con espacios no habitables superior (falsa)   | Aislamiento yeso-paja – 6 cm<br>Cañizo – 4 cm<br>Enlucido de yeso – 2 cm  | 0,55  | 0,65  |
| Carpintería  | Carpinterías de madera estancas con vidrio doble y cámara de gas argón  | 1,2 – 1,4                                     | 1,8   |
| Calefacción* <sup>2</sup>  | Estufa leña 50%<br>Estufa eléctrica 50%   | -   |   |
| Agua caliente sanitaria* <sup>2</sup>  | Calentador gas  | -   | -   |

\*<sup>1</sup> CTE HE, Tabla 3.1.1.a - HE1 Valores límite de transmitancia térmica para la zona climática D3

\*<sup>2</sup> No se realizan mejoras en las instalaciones para poder comparar las propuestas únicamente modificado los elementos de la envolvente

**Tabla 26.** Parámetros a considerar para la elaboración del CEE de la propuesta de rehabilitación energética convencional. Fuente: elaboración propia con datos de fabricantes y Catalogo de elementos constructivos del CTE.

| Elemento   | Sistema constructivo / tipo de instalación   | Transmitancia térmica<br>(W / m <sup>2</sup> ·K) | Transmitancia térmica máxima <sup>*1</sup><br>(W / m <sup>2</sup> ·K) |
|--|--|--|---|
| Fachada  | Mortero de cemento – 2 cm<br>Bloques de adobe – 40 cm<br>Enlucido de yeso – 2 cm<br>Lana de roca – 8 cm<br>Placa de yeso laminado – 1,3cm                          | 0,38   | 0,41  |
| Partición vertical en contacto con espacios no habitables (tabique escalera)   | Enlucido de yeso – 1,5 cm<br>Ladrillo hueco sencillo – 4 cm<br>Enlucido de yeso – 1,5 cm<br>Lana de roca – 8 cm<br>Placa de yeso laminado – 1,3cm                  | 0,46   | 0,65  |
| Partición horizontal en contacto con espacios no habitables inferior (forjado) | Baldosa hidráulica – 2 cm<br>Recrecido mortero – 2 cm<br>Cañizo – 4 cm<br>Enlucido de yeso – 2 cm<br>Poliuretano proyectado – 4 cm<br>Placa yeso laminado – 1,3 cm | 0,37   | 0,65  |
| Partición horizontal en contacto con espacios no habitables superior (falsa)   | Lana de roca – 6 cm<br>Cañizo – 4 cm<br>Enlucido de yeso – 2 cm  | 0,45   | 0,65  |
| Carpintería  | Carpinterías de madera estancas con vidrio doble y cámara de gas argón   | 1,36 – 1,72                                      | 1,8   |
| Calefacción <sup>*2</sup>  | Estufa leña 50%<br>Estufa eléctrica 50%  | -  |   |
| Agua caliente sanitaria <sup>*2</sup>  | Calentador gas   | -  | -   |

<sup>\*1</sup> CTE HE, Tabla 3.1.1.a - HE1 Valores límite de transmitancia térmica para la zona climática D3

<sup>\*2</sup> No se realizan mejoras en las instalaciones para poder comparar las propuestas únicamente modificando los elementos de la envolvente

## 7. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS Y EXTRAPOLACIÓN

---

Tras haber planteado, desarrollado y simulado dos escenarios principales de rehabilitación energética, uno con enfoque de ciclo de vida y otro no, en esta sección se analizan los resultados obtenidos y se extrapolan al municipio de Maleján.

Maleján tiene un parque edificado muy envejecido en el que el 50% de las viviendas (127) podrían considerarse similares a la vivienda analizada en este estudio, ya que se construyeron antes del año 1950 y son de la misma tipología. Por ello, rehabilitar estas viviendas sería de suma importancia tanto desde el punto de vista ambiental como para mejorar el confort de las personas que las habitan.

Tras analizar los diferentes escenarios de rehabilitación, lo que se ha observado es que, al considerar los impactos ambientales asociados a la totalidad de las etapas del ciclo de vida del edificio, la rehabilitación que utiliza materiales naturales y de proximidad presenta ventajas desde el punto de vista ambiental. En este sentido, para el edificio analizado, el potencial de calentamiento global asociado a la extracción, transformación, transporte, puesta en obra y fin de vida de los materiales utilizados se reduce en 50,1 kg de CO<sub>2</sub> equivalente cuando se utilizan materiales naturales y de proximidad, que es el CO<sub>2</sub> que absorberían en un año 3 árboles maduros. Por otra parte, la energía embebida de los materiales naturales es inferior en 353 MJ respecto a la solución convencional, lo que supone 98 kWh, que es aproximadamente la energía que consume una vivienda en 10 días.

Si las 127 viviendas de Maleján se rehabilitasen con materiales naturales y de proximidad, el potencial de calentamiento global se reduciría en 6.362,7 kg de CO<sub>2</sub> equivalente respecto a los valores obtenidos utilizando una rehabilitación sin perspectiva de ciclo de vida. Esta cantidad corresponde al CO<sub>2</sub> que absorberían en un año 381 árboles maduros.

Estas cifras de ahorro son aun así muy inferiores si se comparan con las que obtenemos con el simple hecho de rehabilitar energéticamente la vivienda, reduciéndose en un año de uso en 1.894 kg las emisiones de CO<sub>2</sub> y 37.850 MJ el consumo de energía primaria no renovable (datos obtenidos de los CEE elaborados, con la rehabilitación se reducen las emisiones en 21,6 kgCO<sub>2</sub>/ m<sup>2</sup> año y el consumo en 119,9 kWh/m<sup>2</sup>). Extrapolando esto al total del municipio se obtiene un ahorro anual de emisiones de 240.538 kg de CO<sub>2</sub> por año y 4.806.950 MJ de energía primaria no renovable.

Con todo ello vemos que, si analizamos lo que supone la reducción de los impactos ambientales si se utilizan materiales naturales y de proximidad para la rehabilitación energética de una vivienda, el resultado de reducción obtenido con la herramienta MARS-SC no es muy significativo, teniendo un impacto mucho menor del esperado. También ha sorprendido el bajo peso que ha tenido en los resultados el empleo de materiales de proximidad, lo que se justifica porque la fase de transporte tiene un peso muy pequeño dentro de la totalidad del análisis de ciclo de vida.

A pesar de todo ello, la utilización de materiales de proximidad contribuye a la

economía, el empleo local y su adaptabilidad al edificio.

Si tenemos en cuenta que los materiales empleados sean de origen natural, estos además de ser menos perjudiciales para el medio ambiente que los materiales industrializados según los resultados obtenidos, tienen propiedades más convenientes para utilizarse en edificios rurales que se han sido contruidos con materiales y técnicas tradicionales como es el caso, dotándoles de una mayor transpirabilidad y permeabilidad al vapor de agua, además de ser convenientes para la resolución de las patologías existentes.

Aunque no haya sido objeto de este trabajo el estudio económico de las soluciones, es importante indicar que con la rehabilitación energética se podrían conseguir deducciones fiscales, ya que la reducción del consumo de energía primaria no renovable es mayor al 30% (en los dos casos propuestos se consigue una reducción del 46,10 % en la primera solución o 45,63 % en la segunda), lo que podría ayudar a incentivar la posible rehabilitación de la vivienda. Además, la reducción en el gasto energético anual obtenida a través de la rehabilitación energética también puede considerarse un incentivo en sí mismo para la rehabilitación.



## 8. CONCLUSIONES

---

Este trabajo nace de la conjugación de dos necesidades: por un lado, de la necesidad de luchar contra la despoblación del mundo rural priorizando medidas para la rehabilitación de las edificaciones existentes y, por otro lado, de intentar contribuir a la mitigación del cambio climático y de la pérdida de la biodiversidad a través de la descarbonización de la edificación.

Para ello, se plantea la rehabilitación energética de una vivienda “tipo” de un municipio aragonés que se engloba dentro de una categoría denominada “rural deprimido” según el Instituto Geográfico Aragonés.

Dicha rehabilitación energética se aborda a través de dos puntos de vista. Por un lado, una rehabilitación energética convencional, sin enfoque de ciclo de vida. Por otro lado, una rehabilitación energética basada en el uso de materiales naturales y de proximidad. Existen, además, otras dos soluciones intermedias que serán finalmente descartadas.

Ambos enfoques son, a su vez, comparados a través de un doble análisis. Primero, se estudia el impacto ambiental que generan los productos utilizados en ambos enfoques empleando la metodología MARS-SC, que evalúa todas las etapas de ciclo de vida de los materiales (construcción, uso, fin de vida y más allá del ciclo de vida). Después, se estudia el comportamiento energético de las dos soluciones principales planteadas.

Los resultados arrojan que el desempeño energético de la fase de uso obtenido tras ambas propuestas de rehabilitación es prácticamente idéntico, reduciéndose el consumo de energía primaria no renovable en un 46,10% para la solución con materiales

naturales y locales y en un 45,63% para la solución sin perspectiva de ciclo de vida. En cuanto a las emisiones de CO<sub>2</sub>, la disminución con la primera solución es del 44,72%, mientras que con la segunda es del 44,30%. Esto quiere decir que el empleo de soluciones que tienen en cuenta la perspectiva de ciclo de vida es incluso ligeramente beneficioso también desde el punto de vista de la mejora de la eficiencia energética en la fase de uso del edificio.

Por supuesto, considerando el resto de los impactos ambientales asociados al resto de las etapas del ciclo de vida, la diferencia a favor de la solución de rehabilitación con materiales naturales y de proximidad aumenta. En este sentido, el potencial de calentamiento global se reduce en 50,1 kg de CO<sub>2</sub> equivalente cuando se utilizan materiales naturales y de proximidad, mientras que la energía embebida de los materiales naturales es inferior en 353 MJ respecto a la solución convencional.

Este trabajo se ha centrado en el estudio de una de las tres patas de la sostenibilidad del ciclo de vida: la ambiental, por lo que para hacer un análisis completo sería necesario realizar un análisis también desde el punto de vista económico y social de las soluciones.

A pesar de que ese análisis social no se haya llevado a cabo, dicha preocupación ha estado latente durante todo el desarrollo del trabajo, ya que una de las premisas marcadas para este estudio era utilizar materiales del lugar y que pudieran ser aplicados por trabajadores de la zona, de manera que la actividad de la rehabilitación pudiera impulsar el desarrollo de la zona.

## 9. REFERENCIAS

---

### LIBROS:

Caballero Subiza B. (1992) *Los restos islámicos de Maleján (Zaragoza): Nuevos datos para el estudio de la evolución de la decoración de la época de Califato al periodo Taifa*. Institución Fernando el Católico.

Aguilera Hernández, A, Adiego Sevilla, R. (2013) *Maleján patrimonio artístico religioso*. Centro de Estudios Borjanos.

Abarca M. Cambra S. Pardina J.A. Pawlowsky H. Rivas F.A (2011) *Buenas prácticas en la rehabilitación de la arquitectura rural tradicional*. Centro de Desarrollo del Somontano.

Abarca M. Cambra S. Pardina J.A. Pawlowsky H. (2011) *Soluciones técnicas para la rehabilitación de la arquitectura rural tradicional*. Centro de Desarrollo del Somontano.

Azpilicueta Astarloa E. (2004). *La Construcción de la Arquitectura de Postguerra en España (1939-1962)*.

Chig F. Shairo I. (2015) *Arquitectura Ecológica*. Editorial Gustavo Gili.

Campelo J. Méndez L. Miñana J. (1979) *Adobe y energía solar*. Ediciones Síntesis.

Toral. A. *Aspectos técnicos del ACV*. Green Building Council España.

### ARTÍCULOS:

Beltrán Velamazán, C., Monzón Chavarrías, M. y López Mesa, B. (2022). A1. Clasificación y caracterización del parque habitacional en zonas rurales. En B. López Mesa, C. Foronda Diez y J. Tobías González (Coord.), *RuralREGEN: Estudio sobre el estado de la rehabilitación energética de viviendas en el ámbito rural en España: diagnóstico, barreras y soluciones*.

Li, E.; Zhu, J. (2021) *Parametric analysis of the mechanism of creating indoor thermal environment in traditional houses in Lhasa*. Build. Environ.

Stanimirovic, M.; Vasov, M.; Mancic, M.; Rancev, B.; Medenica, M. (2023) *Sustainable Vernacular Architecture: The Renovation of a Traditional House on Stara Planina Mountain in Serbia*. Buildings. <https://doi.org/10.3390/buildings13041093>

Alavedra P. Dominguez J. Gonzalo E. (1997) *La Construcción Sostenible. El estado de la cuestión*. Consejo Superior de Investigaciones Científicas.

Mateus, R. Bragança, L. (2009). *Avaliação da Construção Sustentável: Propostas para o Desenvolvimento de Edifícios Mais Sustentáveis*. Ph.D. Thesis, Universidade do Minho, Braga, Portugal.

Mateus, R. Bragança, L. (2011) *Sustainability assessment and rating of buildings: Developing the methodology SBTToolPT-H*. Building and Environment.

Cosentino, L. Fernandes, J. Mateus, R. (2024) *Fast-Growing Bio-Based Construction Materials as an Approach to Accelerate United Nations Sustainable Development Goals*. Applied Sciences. <https://doi.org/10.3390/app14114850>

Paula Junior, A.C. Jacinto, C. Oliveira, T.M. Polisseni, A.E. Brum, F.M. Teixeira, E.R. Mateus, R. (2021). *Characterisation and Life Cycle Assessment of Pervious Concrete with Recycled Concrete Aggregates*. Crystals. <https://doi.org/10.3390/cryst11020209>

Roselló, O. (2024, 4 de enero). Can Buch, rehabilitación y bioconstrucción. *Ecohabitar*. <https://ecohabitar.org/can-buch-rehabilitacion-y-bioconstruccion/>

Wadel, G. (2020, 13 de octubre). Aislamientos térmicos renovables y reciclados de lana de ovaja y algodón. *Ecohabitar*. <https://ecohabitar.org/aislamientos-termicos-renovables-y-reciclados-de-lana-de-oveja-y-algodon/>

Bel, P. (2015, 6 de octubre) Proporciones para el aislamiento barro-paja. *Pedro Bel Arquitectura con Minúscula*. <https://pedrobelarq.blogspot.com/2015/10/proporciones-para-hacer-aislamiento-de.html>

#### PÁGINAS WEB:

Ecodes. (2024). *Rehabilitación y reto demográfico*. <https://ecodes.org/hacemos/energia-y-personas/rehabilitacion-energetica-de-viviendas/rehabilitacion-y-reto-demografico-propuestas-para-la-rehabilitacion-residencial-en-el-medio-rural>

Ecodes. (2024). *Hacia una Europa saludable y renovada*. <https://ecodes.org/hacemos/energia-y-personas/rehabilitacion-energetica-de-viviendas/hacia-una-europa-saludable-y-renovada-edificios-rehabilitados>

DIRECTIVA (UE) 2024/1275 DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 24 de abril de 2024 relativa a la eficiencia energética de los edificios (refundición). [https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=OJ:L\\_202401275&pk\\_keyword=Energy&pk\\_content=Directive](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=OJ:L_202401275&pk_keyword=Energy&pk_content=Directive)

Madera Pinosoria. (2021). *Aislantes naturales de madera de pino*. <https://maderapinosoria.com/aislantes-naturales-de-madera-de-pino/>

Steico. (2024). <https://www.steico.com/es/>

Vipeq. (2024). <https://www.vipeq.es/>

Red de construcción con paja. (2024). <https://www.casasdepaja.org/>

Wool4build. (2024). <https://www.wool4build.com/>

Aislanat, aislante de celulosa. (2024). <https://www.aislantesaislanat.es/>

Geopannel. (2024). <https://geopannel.com/>

Bioterre. (2024). <https://bioterre.es/>

Ecoclay revestimientos naturales. (2024). <https://ecoclay.es/>

Fermacell greenline. (2024). <https://www.fermacell.es/es>

Pladur (2024). <https://www.pladur.com/es>

Estudio EDRA Arquitectura km0. (2024). <http://arquitectura.edraculturaynaturaynatura.com/>

Estudio de Arquitectura de Entorno. (2024). <https://arquitecturadeentorno.com/>

Instituto Geográfico de Aragón. Atlas de Aragón. (2022) *Población total municipal*.  
[https://idearagon.aragon.es/atlas\\_new/Aragon/info/poblacion/poblacion-residente/poblacion-total-municipal](https://idearagon.aragon.es/atlas_new/Aragon/info/poblacion/poblacion-residente/poblacion-total-municipal)

Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible. ERESEE 2020. <https://www.transportes.gob.es/el-ministerio/planes-estrategicos/estrategia-a-largo-plazo-para-la-rehabilitacion-energetica-en-el-sector-de-la-edificacion-en-espana/eresse2020>

Sede Agencia Tributaria. (2024). *Deducción por obras para la mejora en el consumo de energía primaria no renovable*.<https://sede.agenciatributaria.gob.es/Sede/vivienda-otros-inmuebles/deducciones-obras-mejora-eficiencia-energetica-viviendas/deducccion-obras-mejora-consumo-energia-renovable/que-obras-derecho-deducccion.html>

Sede Electrónica del Catastro. (2024). <https://www.sedecatastro.gob.es/>

Ayuntamiento de Maleján. (2024). <https://malejan.es>

Comarma del Campo de Borja. (2024). <https://campodeborja.es>



## 10. ÍNDICE DE FIGURAS

**Fig. 1.** Panel de fibra de madera. Fuente: <https://maderapinosoria.com/>

**Fig. 2.** Panel semirrígido de madera. Fuente: <https://www.steico.com/es/>

**Fig. 3.** Corcho proyectado. Fuente: <https://www.vipeq.es/>

**Fig. 4.** Panel de corcho. Fuente: <https://www.vipeq.es/>

**Fig. 5.** Corcho granulado. Fuente: <https://www.vipeq.es>

**Fig. 6.** Paja. Fuente: <https://www.casasdepaja.org/>

**Fig. 7.** Panel de lana de oveja. Fuente: <https://www.wool4build.com/>

**Fig. 8.** Celulosa para proyectar. Fuente: <https://www.aislantesaislanat.es/>

**Fig. 9.** Panel de fibra textil reciclada. Fuente: <https://geopannel.com/>

**Fig. 10.** Forjado de rollizos de madera a demoler en estado ruinoso. Fuente: Elaboración propia

**Fig. 11.** Madera de pino. Fuente: <https://maderapinosoria.com/>

**Fig. 12.** Muro de bloques de adobe. Fuente: Elaboración propia.

**Fig. 13.** Bloques de tierra comprimida. Fuente: <https://bioterre.es/>

**Fig. 14.** Mortero de cal. Fuente: <https://ciarries.com/es/>

**Fig. 15.** Revestimiento de yeso artesano. Fuente: Elaboración propia.

**Fig. 16.** Placa de arcilla. Fuente: <https://ecoclay.es/>

**Fig. 17.** Planel de fibra-yeso. Fuente: <https://www.fermacell.es/es>

**Fig. 18.** Placas de yeso laminado. Fuente: <https://corporativo.pladur.com/es-es/>

**Fig. 19.** Vista exterior Casa Tapial. Fuente: <http://arquitectura.edraculturaynaturaynatura.com/>

**Fig. 20.** Vista interior Casa Tapial. Fuente: <http://arquitectura.edraculturaynaturaynatura.com/>

**Fig. 21.** Vista Can Buch. Fuente: <https://bangolo.com/>

**Fig. 22.** Rehabilitación Can Buch. Fuente: <https://ecohabitar.org/can-buch-rehabilitacion-y-bioconstruccion/>

**Fig. 23.** Vista Can Buch. Fuente: <https://bangolo.com/>

Fig. 24. Reforma vivienda ecológica. Fuente: <https://arquitecturadeentorno.com/>

**Fig. 25.** Vista Maleján. Fuente: <https://campodeborja.es/>

**Fig. 26.** Reconstrucción gráfica arco islámico. Dibujo de Juan José Borque Ramón según Caballero Subiza B. (1992).

**Fig. 27.** Maleján, ortofoto PNOA 2021. Fuente: Instituto Geográfico Nacional.

**Fig. 28.** Evolución de la población censal en Maleján. Fuente: Censos de 1900 a 2021. INE-IAEST.

**Fig. 29.** Entorno municipio de Maleján. Fuente: Elaboración propia.

**Fig. 30.** Término municipal de Maleján y antigüedad de las viviendas. Fuente: Elaboración propia a partir de información catastral.

**Fig. 31.** Consulta datos catastrales vivienda caso estudio. Fuente: Sede Electrónica del Catastro.

**Fig. 32.** Plano de construcción de la vivienda caso de estudio. Fuente: Propietarios de la vivienda.

**Fig. 33.** Plano de emplazamiento de la vivienda. Fuente: Elaboración propia

**Fig. 34.** Planos de planta baja, planta primera y cubierta. Fuente: Elaboración propia.

**Fig. 35.** Planta baja de la vivienda. Fuente: Elaboración propia.

**Fig. 36.** Planta primera de la vivienda. Fuente: Elaboración propia.

**Fig. 37.** Fachadas. Fuente: Elaboración propia.

**Fig. 38.** Vista fachadas vivienda. Fuente: Elaboración propia.

**Fig. 39.** Sistema constructivo utilizados en la planta baja de la vivienda. Fuente: Elaboración propia.

**Fig. 40.** Moldes para fabricación bloques de hormigón y fotografía fabricación de adobe en zonas rurales. Fuente: Azpilicueta Astarloa, E. *La Construcción de la Arquitectura de Postguerra en España (1939-1962)*.

**Fig. 41.** Sistemas constructivos utilizados en la vivienda: Bloque de hormigón y adobe. Fuente: Elaboración propia.

**Fig. 42.** Sistema estructural utilizado en la vivienda: Pilastras de ladrillo y forjado de maderos. Fuente: Elaboración propia.

**Fig. 43.** Sección 1, 2, 3 y 4. Fuente: Elaboración propia.

**Fig. 44.** Sección constructiva 1. Fuente: Elaboración propia.

**Fig. 45.** Sección constructiva 2. Fuente: Elaboración propia.

**Fig. 46.** Detalle sección constructiva 1. Fuente: Elaboración propia.

**Fig. 47.** Estructura forjado planta primera y cubierta. Fuente: Elaboración propia.

**Fig. 48.** Lesiones en fachadas y en secciones. Fuente: Elaboración propia.

**Fig. 49.** Calificación energética obtenida. Fuente: Elaboración propia.

**Fig. 50.** Humedades por capilaridad en las fachadas. Fuente: Elaboración propia.

**Fig. 51.** Humedades por filtración. Fuente: Elaboración propia.

**Fig. 52.** Humedades por filtraciones accidentales. Fuente: Elaboración propia.

**Fig. 53.** Manchas de suciedad por lavado diferencial. Fuente: Elaboración propia.

**Fig. 54 y 55.** Deformación de forjado de terraza debido al deterioro de viga de madera. Fuente: Elaboración propia.

**Fig. 56.** Desplomes de pilastras de barandilla. Fuente: Elaboración propia.

**Fig. 57 y 58:** Revestimiento desprendido en fachada principal y lateral. Fuente: Elaboración propia.

**Fig. 59.** Revestimiento desprendido y en mal estado en fachada posterior. Fuente: Elaboración propia.

**Fig. 60.** Revestimiento desprendido y en mal estado en fachada posterior. Fuente: Elaboración propia.

**Fig. 61.** Existencia de vegetación junto a la vivienda. Fuente: Elaboración propia.

**Fig. 62.** Fachada vivienda. Fuente: Elaboración propia.

**Fig. 63.** Aislamiento por el exterior o interior de la envolvente térmica. Fuente: Chig F. Shairo I. (2015) *Arquitectura Ecológica*. Editorial Gustavo Gili.

**Fig. 64.** Mapa del lugar de fabricación de los materiales empleados en la rehabilitación con materiales de proximidad. Fuente: Elaboración propia.

**Fig. 65.** Sistema constructivo con placas de arcilla Fuente: <https://ecoclay.es/>

**Fig. 66.** Placas de arcilla en trasdosado Fuente: <https://ecoclay.es/>

**Fig. 67.** Aislamiento barro-paja. Fuente: <https://pedrobelara.blogspot.com/>

**Fig. 68.** Aislamiento de forjado de maderos con celulosa proyectada.

Fuente: <https://www.aislaecotres.es/>

**Fig. 69.** Carpintería de madera del fabricante Carmave S.L. en Tarazona. Fuente: <https://carnave.es/>

**Fig. 70.** Detalle de carpinterías a reparar o sustituir en la vivienda. Fuente: Elaboración propia.

**Fig. 71.** Sección constructiva rehabilitación energética. Fuente: Elaboración propia.

**Fig. 72.** Sistema constructivo de trasdosado con placas de yeso laminado. Fuente: <https://corporativo.pladur.com/es>

**Fig. 73.** Ventana de aluminio con RPT. Fuente: <https://www.cortizo.com/es>

**Fig. 74.** Etapas del ciclo de vida. Fuente: Hoja de ruta para la descarbonización GBCE, enero 2022.

**Fig. 75.** Planta primera de la vivienda rehabilitada. Fuente: Elaboración propia.

**Fig. 76.** Calificación energética obtenida con la propuesta de rehabilitación con materiales naturales y de proximidad y con la propuesta de rehabilitación convencional. Elaboración propia.

## 11. ÍNDICE DE TABLAS

---

**Tabla 1.** Sumario de materiales aislantes de origen natural. Fuente: elaboración propia con datos de fabricantes y Catalogo de elementos constructivos del CTE.

**Tabla 2.** Sumario de otros materiales de construcción de origen natural. Fuente: elaboración propia con datos de fabricantes y Catalogo de elementos constructivos del CTE.

**Tabla 3.** Viviendas según tipo.

**Tabla 4.** Distribución de las viviendas convencionales según superficie útil.

**Tabla 5.** Antigüedad de las viviendas.

**Tabla 6.** Parámetros a considerar para la elaboración del CEE. Fuente: elaboración propia con datos de fabricantes y Catalogo de elementos constructivos del CTE.

**Tabla 7.** Sumario de materiales de proximidad para la rehabilitación de la vivienda. Fuente: elaboración propia con datos de fabricantes y Catalogo de elementos constructivos del CTE.

**Tabla 8.** Indicadores del ciclo de vida. Fuente: Hoja de ruta para la descarbonización GBCE enero 2022.

**Tabla 9.** Superficie útil vivienda teniendo en cuenta su rehabilitación energética. Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 10.** Medición de materiales de la solución 1 para la rehabilitación energética por kg/m<sup>2</sup> de superficie útil de la vivienda caso de estudio. Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 11.** Medición de materiales de la solución 2 para la rehabilitación energética por kg/m<sup>2</sup> de superficie útil de la vivienda caso de estudio. Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 12.** Medición de materiales de la solución 3 para la rehabilitación energética por kg/m<sup>2</sup> de superficie útil de la vivienda caso de estudio. Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 13.** Medición de materiales de la solución 4 para la rehabilitación energética por kg/m<sup>2</sup> de superficie útil de la vivienda caso de estudio. Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 14.** Datos de impactos por kilogramo de materiales utilizados en la rehabilitación energética. Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 15.** Resultados de la evaluación del ciclo de vida de productos aislantes de celulosa para 1 kg de producto con densidad media de 45 kg/m<sup>3</sup>. Fuente: Declaración Ambiental de Producto para aislamientos de celulosa según la Asociación Europea de Aislamiento de Celulosa (ECIA).

**Tabla 16.** Comparación de resultados de impactos para 1 kg de aislante de celulosa según Declaración Ambiental de Producto y reduciendo el impacto de la etapa de transporte (A4). Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 17.** Impactos por kg/m<sup>2</sup> útil para la solución 1. Fuente: Elaboración propia con ayuda de la herramienta MARS-SC.

**Tabla 18.** Impactos por kg/m<sup>2</sup> útil para la solución 2. Fuente: Elaboración propia con ayuda de la herramienta MARS-SC.

**Tabla 19.** Impactos por kg/m<sup>2</sup> útil para la solución 3. Fuente: Elaboración propia con ayuda de la herramienta MARS-SC.

**Tabla 20.** Impactos por kg/m<sup>2</sup> útil para la solución 4. Fuente: Elaboración propia con ayuda de la herramienta MARS-SC.

**Tabla 21.** Resumen de impactos totales por kg/m<sup>2</sup> útil para las cuatro soluciones. Fuente: Elaboración propia con ayuda de la herramienta MARS-SC.

**Tabla 22.** Ponderación de cada indicador ambiental. Fuente: Herramienta MARS-SC.

**Tabla 23.** Solución mejor y peor respecto de los impactos totales por kg/m<sup>2</sup>. Fuente: Elaboración propia con ayuda de la herramienta MARS-SC.

**Tabla 24.** Estandarización y determinación de la puntuación ambiental de las soluciones. Fuente: Elaboración propia con ayuda de la herramienta MARS-SC.

**Tabla 25.** Parámetros a considerar para la elaboración del CEE de la propuesta de rehabilitación energética con materiales naturales y de proximidad. Fuente: elaboración propia con datos de fabricantes y Catalogo de elementos constructivos del CTE.

**Tabla 26.** Parámetros a considerar para la elaboración del CEE de la propuesta de rehabilitación energética convencional. Fuente: elaboración propia con datos de fabricantes y Catalogo de elementos constructivos del CTE.



## 12. ANEXOS

---

**ANEXO I:** Planos.

**ANEXO II:** Certificado de eficiencia energética del estado actual de la vivienda.

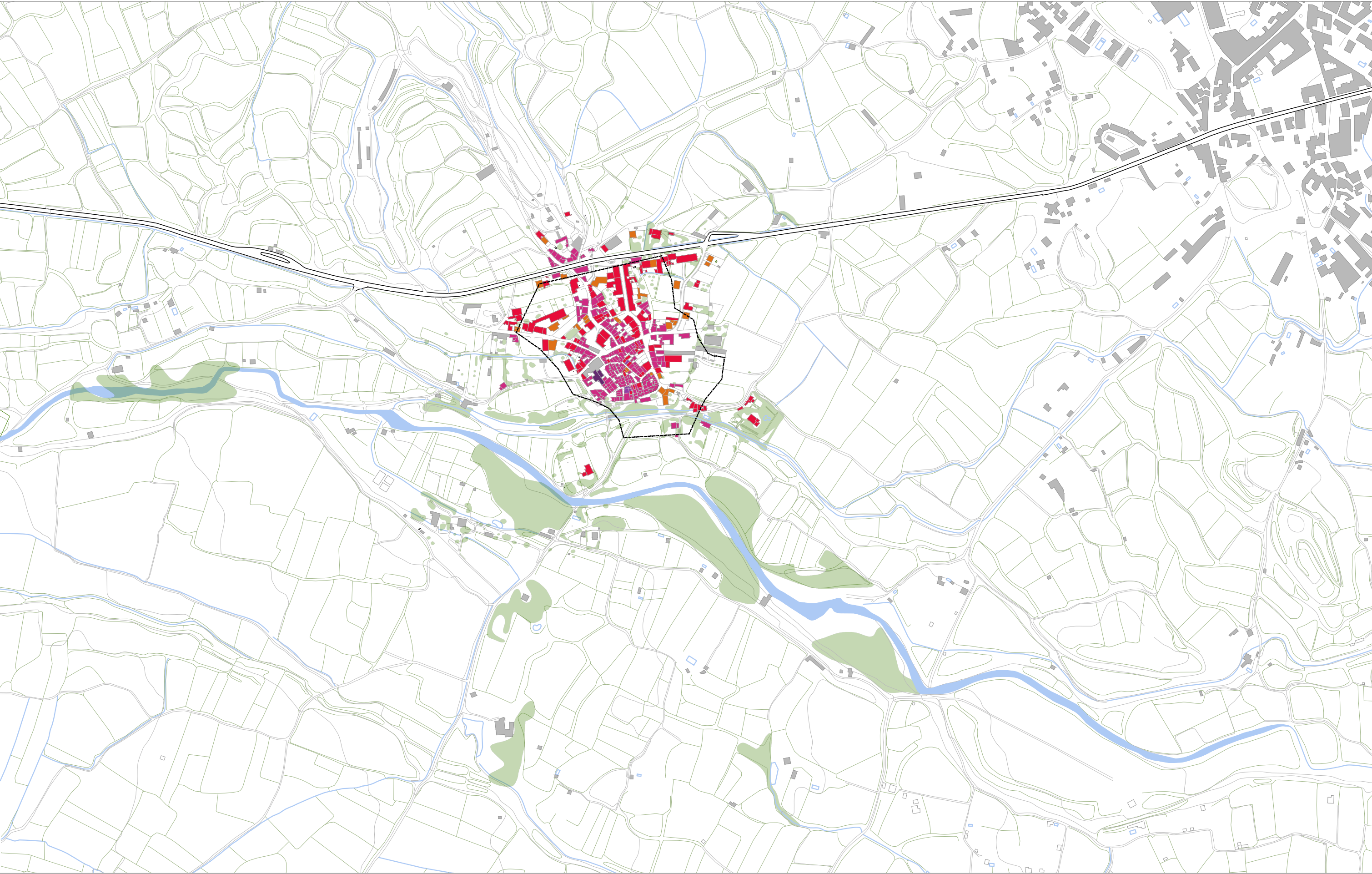
**ANEXO III:** Certificado de eficiencia energética de la propuesta de rehabilitación energética con materiales naturales y de proximidad.

**ANEXO IV:** Certificado de eficiencia energética de la propuesta de rehabilitación energética convencional.

**ANEXO V:** Declaraciones ambientales de productos.

## **ANEXO I: Planos**

01. ENTORNO MUNICIPIO DE MALEJÁN
02. SITUACIÓN
03. EMPLAZAMIENTO
04. PLANTA BAJA
05. PLANTA PRIMERA
06. CUBIERTAS
07. FACHADAS
08. SECCIONES
09. SECCIÓN CONSTRUCTIVA 1
10. SECCIÓN CONSTRUCTIVA 2
11. CARPINTERIAS
12. ESTRUCTURA TECHO PLANTA BAJA
13. ESTRUCTURA CUBIERTA
14. PATOLOGÍAS EXTERIORES
15. PATOLOGÍAS INTERIORES
16. PROPUESTA REHABILITACIÓN ENERGÉTICA



1800-1849

1850-1900

1900-1949

1950-1999

2000-2024

TERMINO MUNICIPAL DE MALEJÁN



TRABAJO FIN DE GRADO

ANÁLISIS DE VIABILIDAD DE LA REHABILITACIÓN ENERGÉTICA CON MATERIALES NATURALES  
Y DE PROXIMIDAD EN EL MEDIO RURAL: CASO DE ESTUDIO EN EL CAMPO DE BORJA

ELENA TABUENCA AZCONA

JUNIO 2024

PLANO: ENTORNO MUNICIPIO DE MALEJÁN

ESC. 1:5000

01





- 1800-1849
  - 1850-1900
  - 1900-1949
  - 1950-1999
  - 2000-2024
- VIVIENDA SELECCIONADA
- TERMINO MUNICIPAL DE MALEJÁN

## TRABAJO FIN DE GRADO

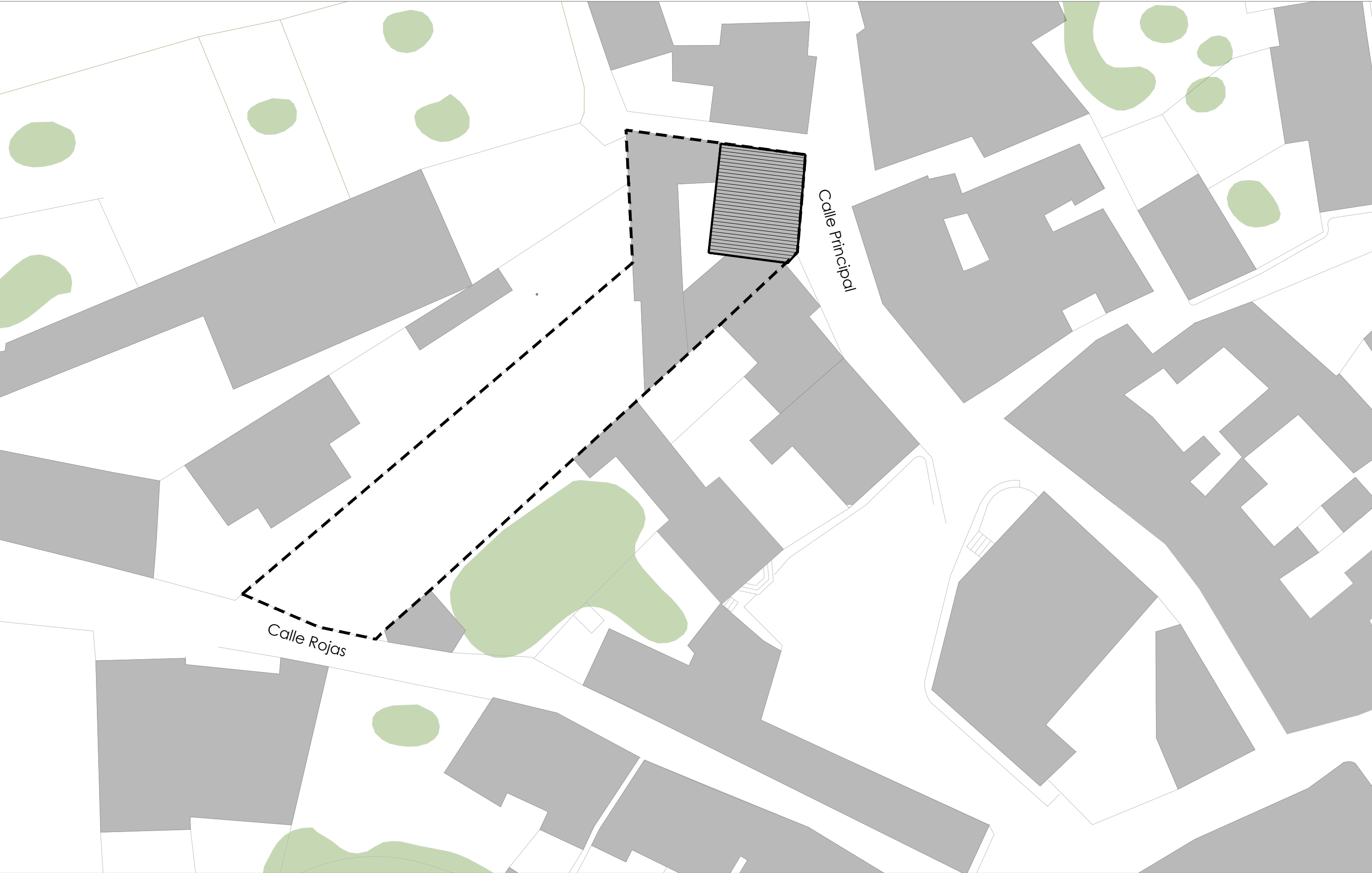
ANÁLISIS DE VIABILIDAD DE LA REHABILITACIÓN ENERGÉTICA CON MATERIALES NATURALES  
Y DE PROXIMIDAD EN EL MEDIO RURAL: CASO DE ESTUDIO EN EL CAMPO DE BORJA



ELENA TABUENCA AZCONA

JUNIO 2024

PLANO: SITUACIÓN

ESC. 1:1500



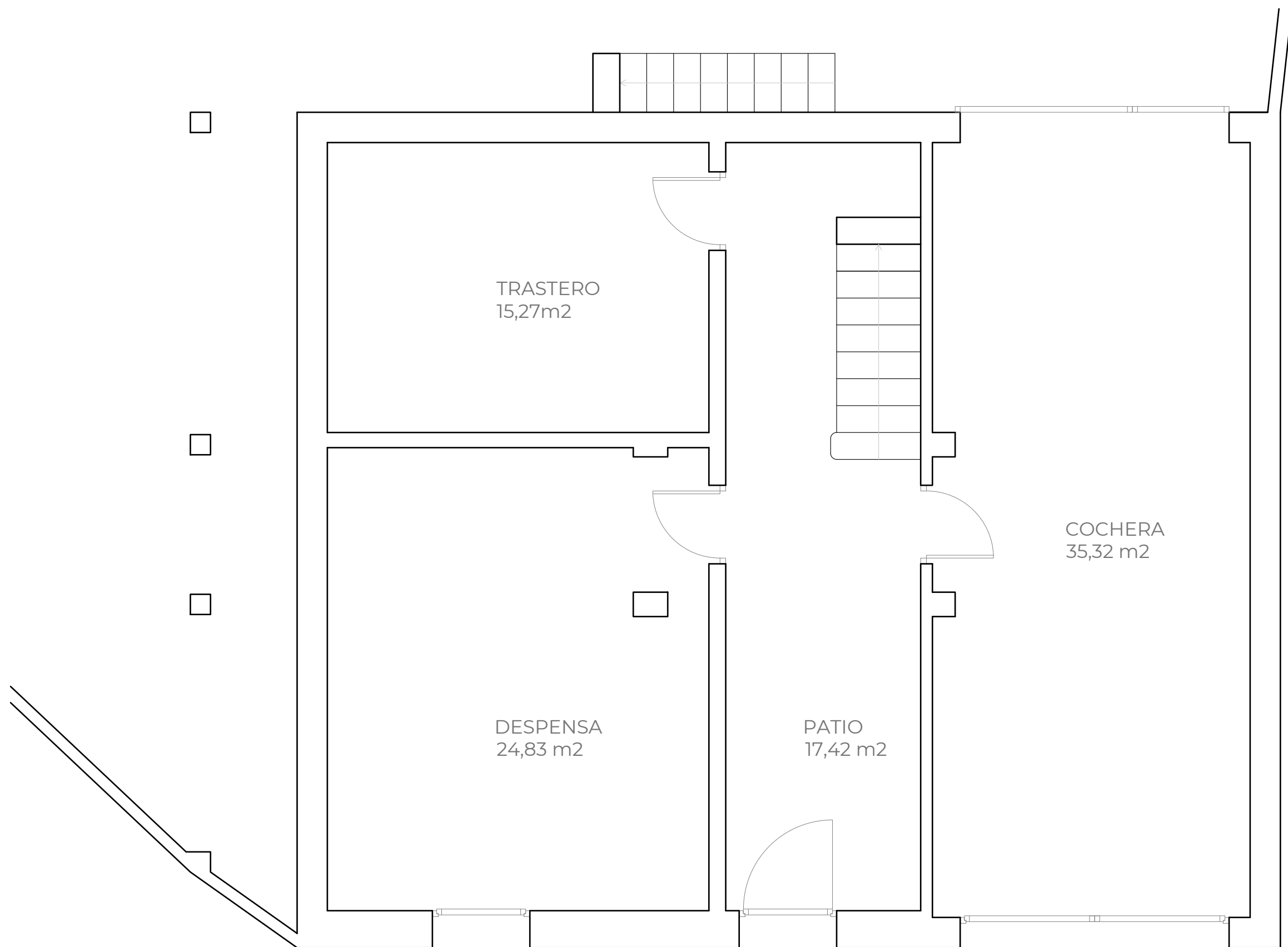
 VIVIENDA SELECCIONADA  
 PARCELA

**TRABAJO FIN DE GRADO**

ANÁLISIS DE VIABILIDAD DE LA REHABILITACIÓN ENERGÉTICA CON MATERIALES NATURALES  
Y DE PROXIMIDAD EN EL MEDIO RURAL: CASO DE ESTUDIO EN EL CAMPO DE BORJA  
ELENA TABUENCA AZCONA  
JUNIO 2024  
PLANO: EMPLAZAMIENTO







**TRABAJO FIN DE GRADO**

ANÁLISIS DE VIABILIDAD DE LA REHABILITACIÓN ENERGÉTICA CON MATERIALES NATURALES  
Y DE PROXIMIDAD EN EL MEDIO RURAL: CASO DE ESTUDIO EN EL CAMPO DE BORJA

ELENA TABUENCA AZCONA

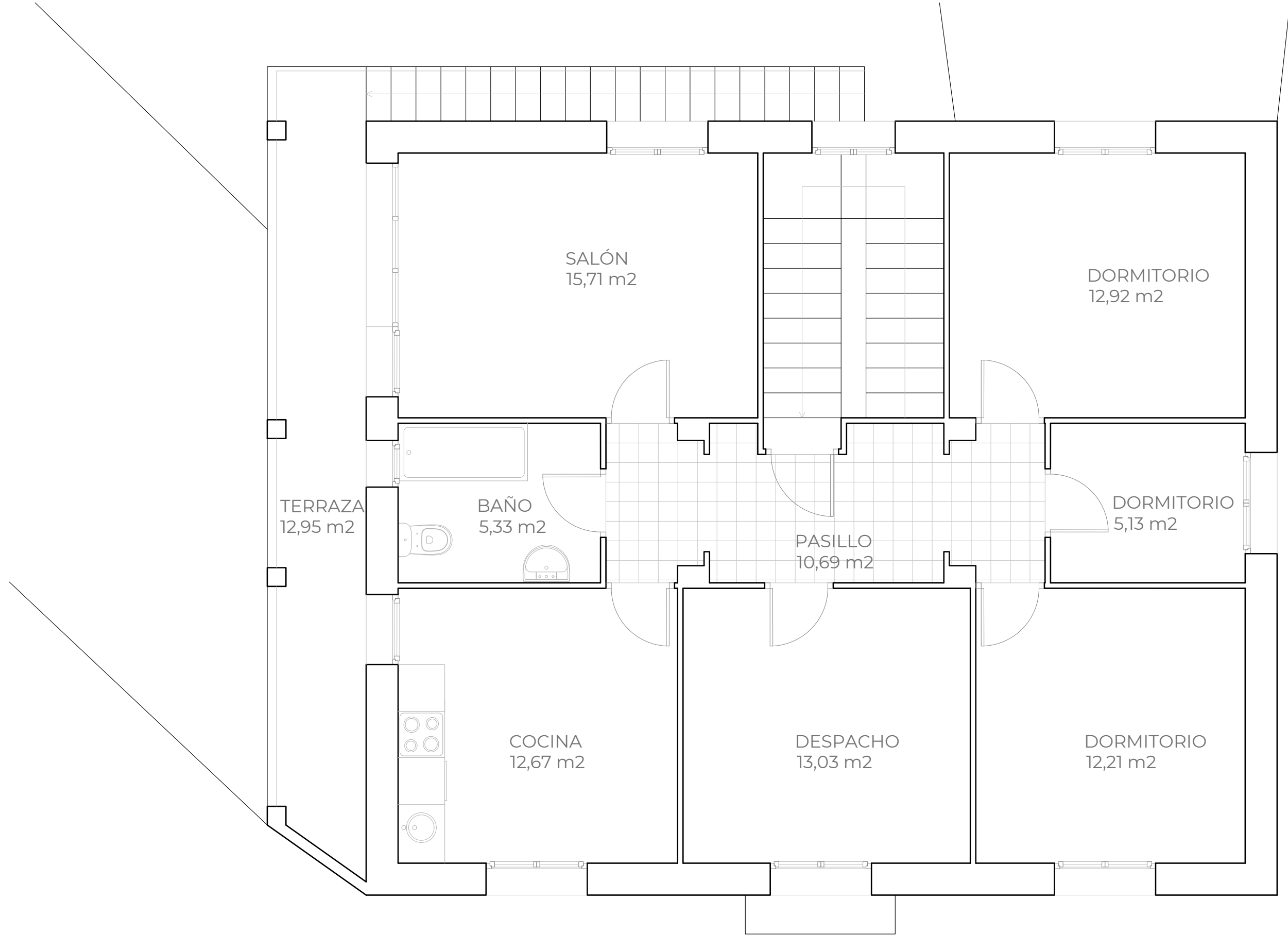
JUNIO 2024

PLANO: PLANTA BAJA



ESC. 1:50

04



**TRABAJO FIN DE GRADO**

ANÁLISIS DE VIABILIDAD DE LA REHABILITACIÓN ENERGÉTICA CON MATERIALES NATURALES Y DE PROXIMIDAD EN EL MEDIO RURAL: CASO DE ESTUDIO EN EL CAMPO DE BORJA

ELENA TABUENCA AZCONA

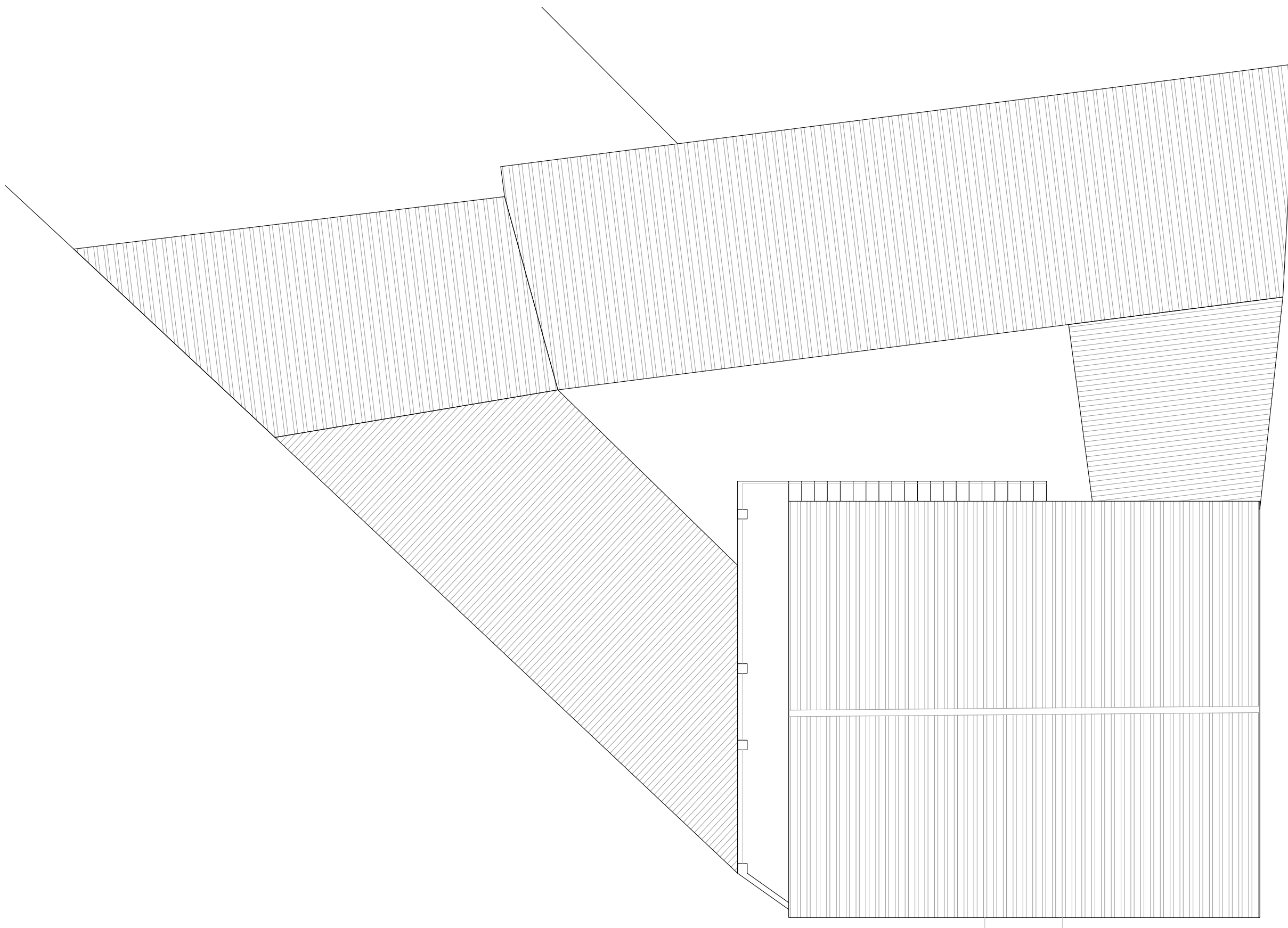
JUNIO 2024

PLANO: PLANTA PRIMERA



ESC. 1:50

05



## TRABAJO FIN DE GRADO

ANÁLISIS DE VIABILIDAD DE LA REHABILITACIÓN ENERGÉTICA CON MATERIALES NATURALES  
Y DE PROXIMIDAD EN EL MEDIO RURAL: CASO DE ESTUDIO EN EL CAMPO DE BORJA

ELENA TABUENCA AZCONA

JUNIO 2024

PLANO: CUBIERTAS



ESC. 1:100

06



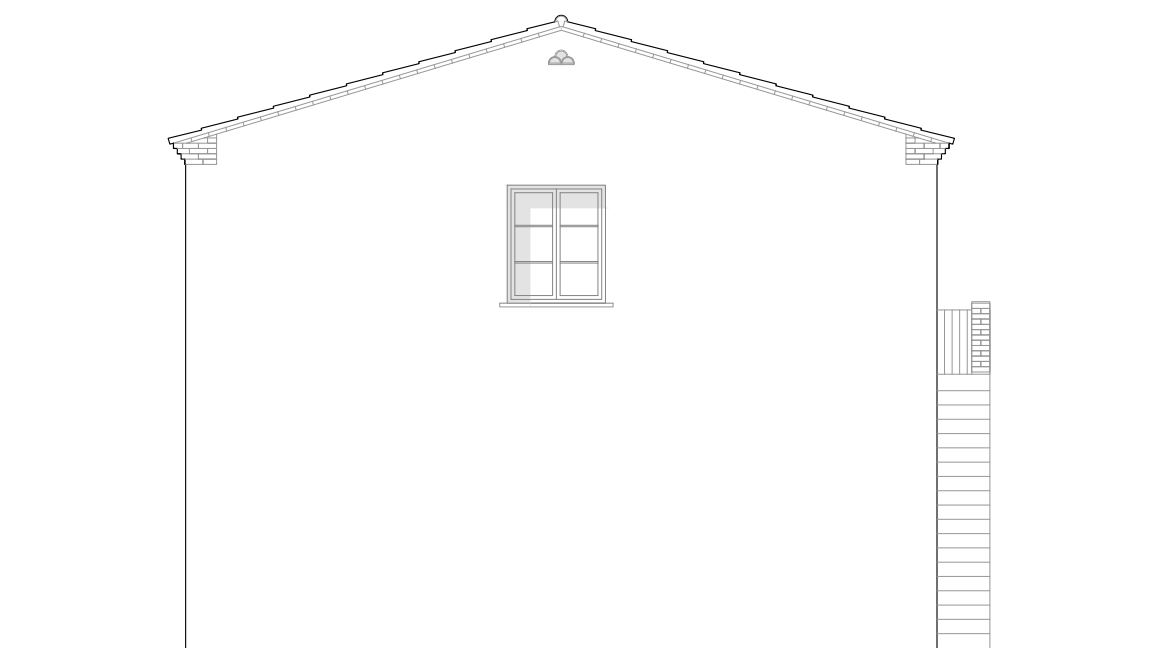
FACHADA ESTE



FACHADA SUR



FACHADA OESTE



FACHADA NORTE

## TRABAJO FIN DE GRADO

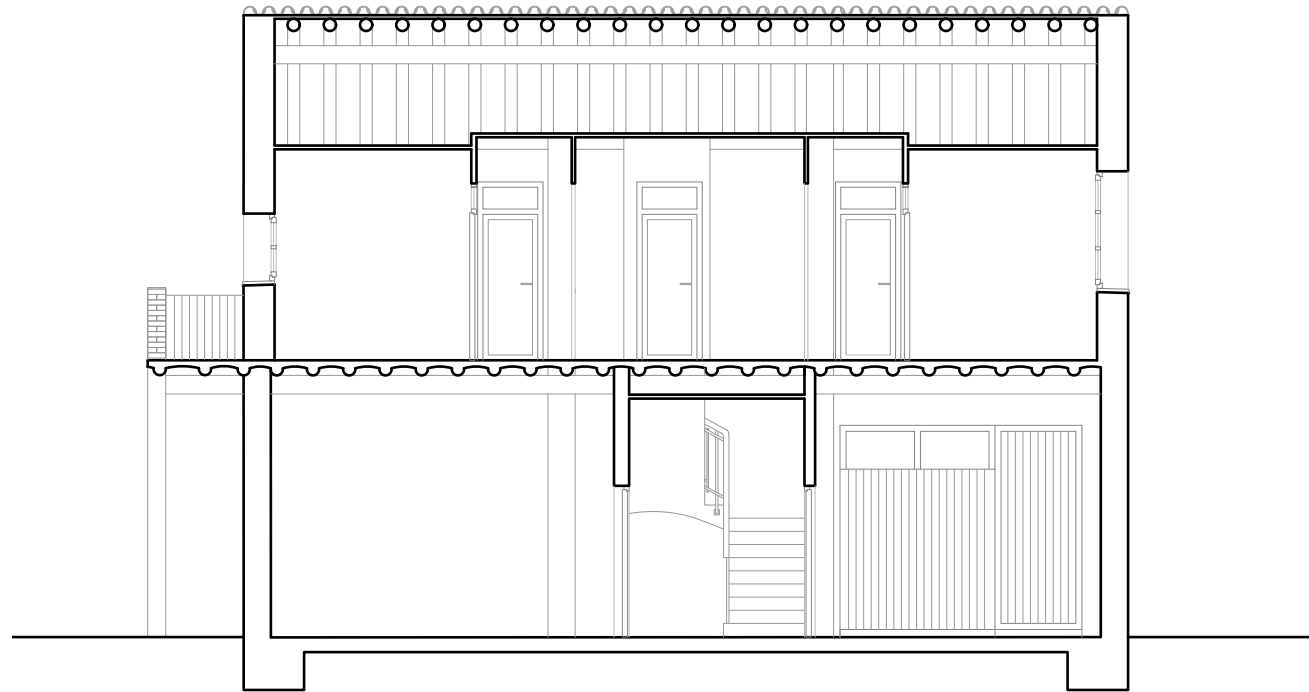
ANÁLISIS DE VIABILIDAD DE LA REHABILITACIÓN ENERGÉTICA CON MATERIALES NATURALES  
Y DE PROXIMIDAD EN EL MEDIO RURAL: CASO DE ESTUDIO EN EL CAMPO DE BORJA

ELENA TABUENCA AZCONA

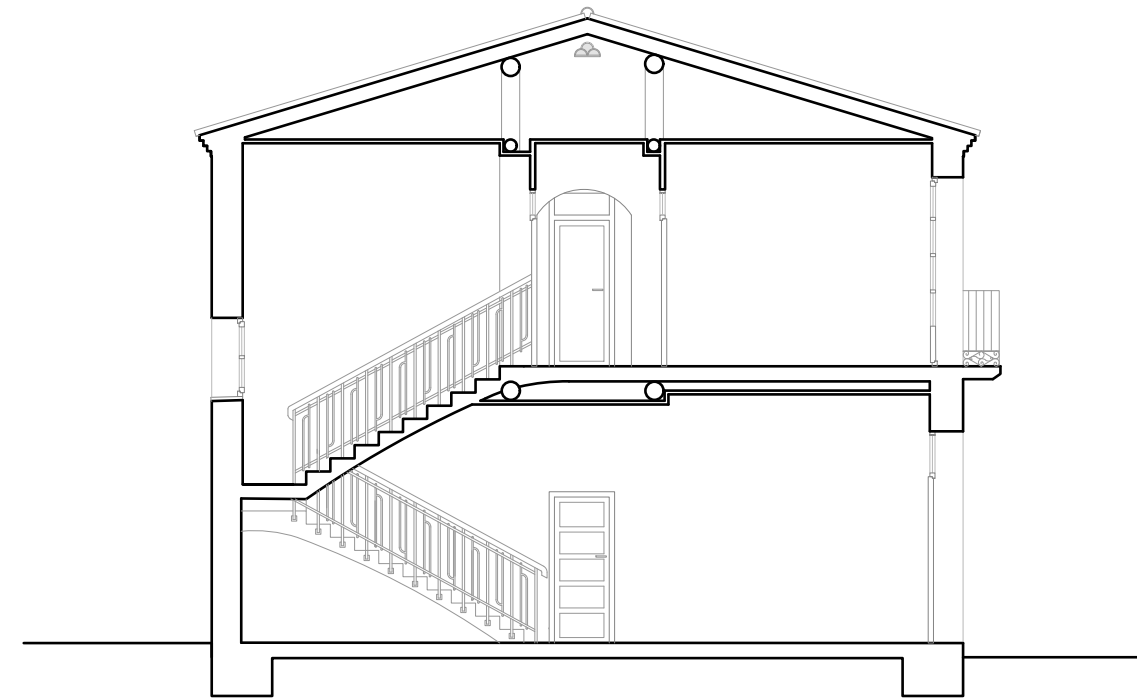
JUNIO 2024

PLANO: FACHADAS

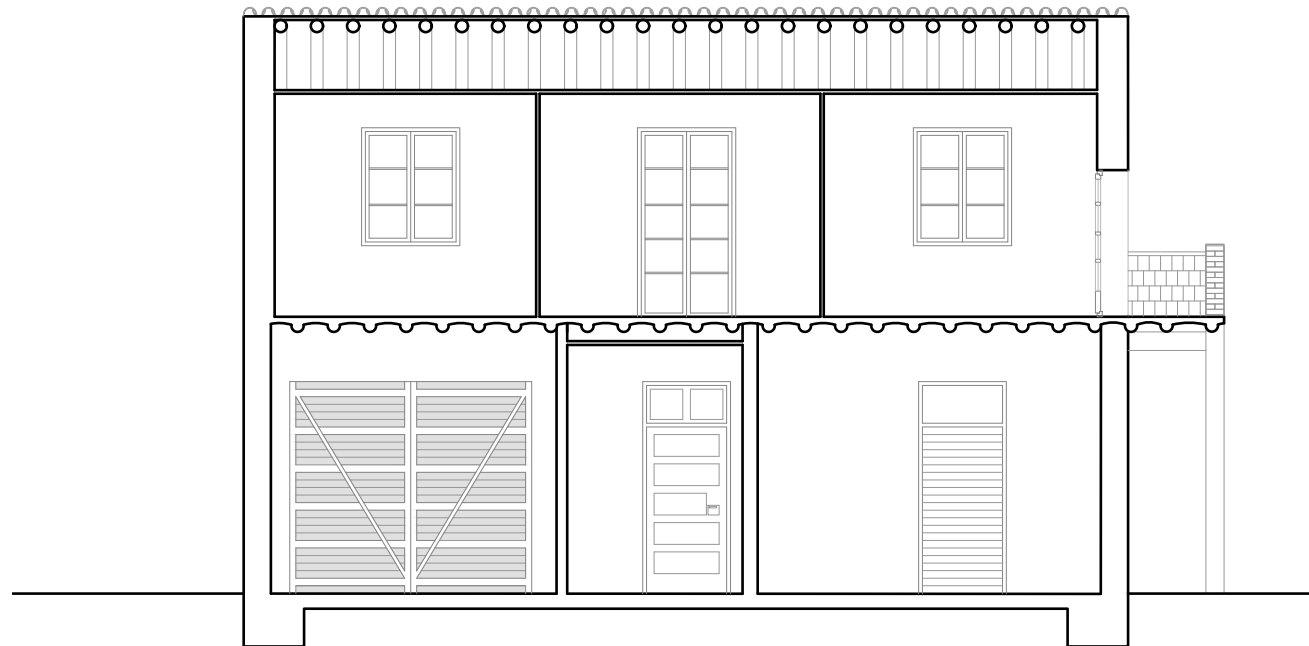
ESC. 1:100



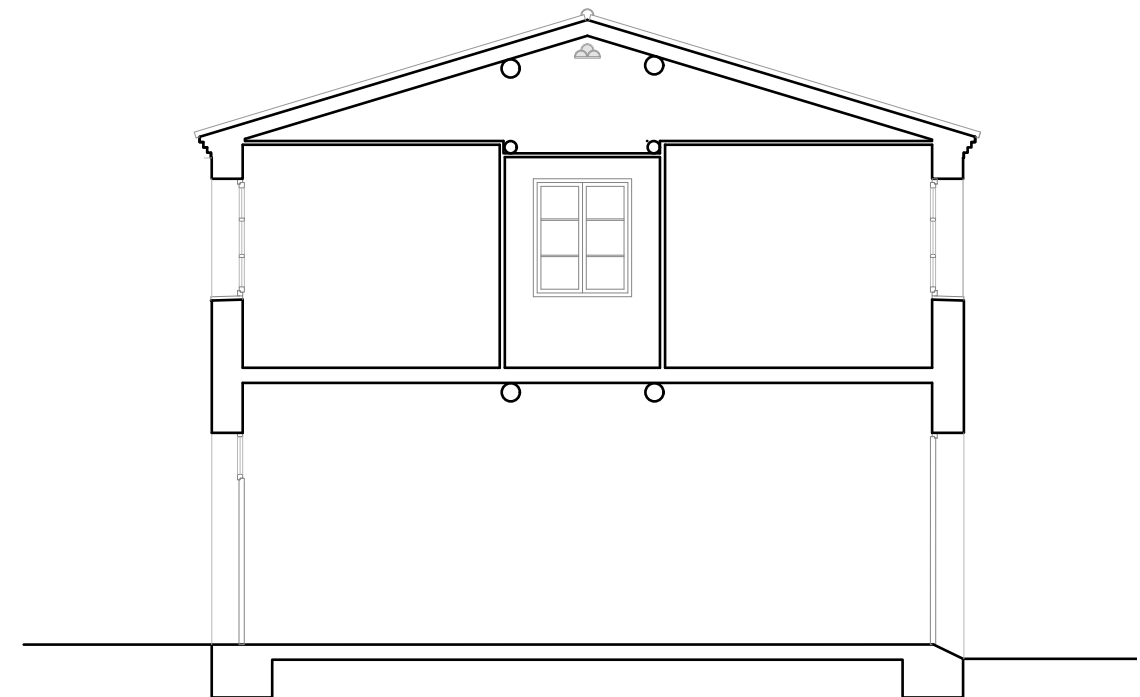
SECCIÓN 3



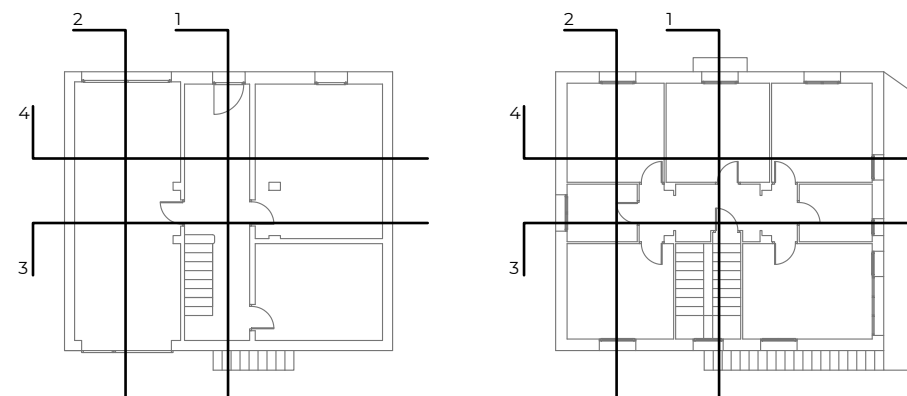
SECCIÓN 1



SECCIÓN 4



SECCIÓN 2



## TRABAJO FIN DE GRADO

ANÁLISIS DE VIABILIDAD DE LA REHABILITACIÓN ENERGÉTICA CON MATERIALES NATURALES  
Y DE PROXIMIDAD EN EL MEDIO RURAL: CASO DE ESTUDIO EN EL CAMPO DE BORJA

ELENA TABUENCA AZCONA

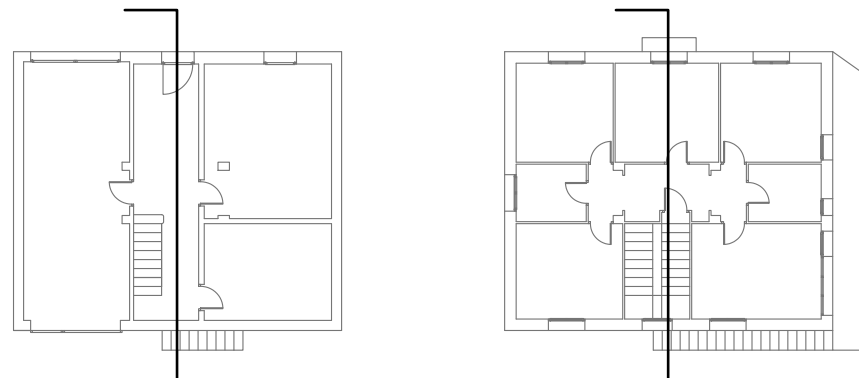
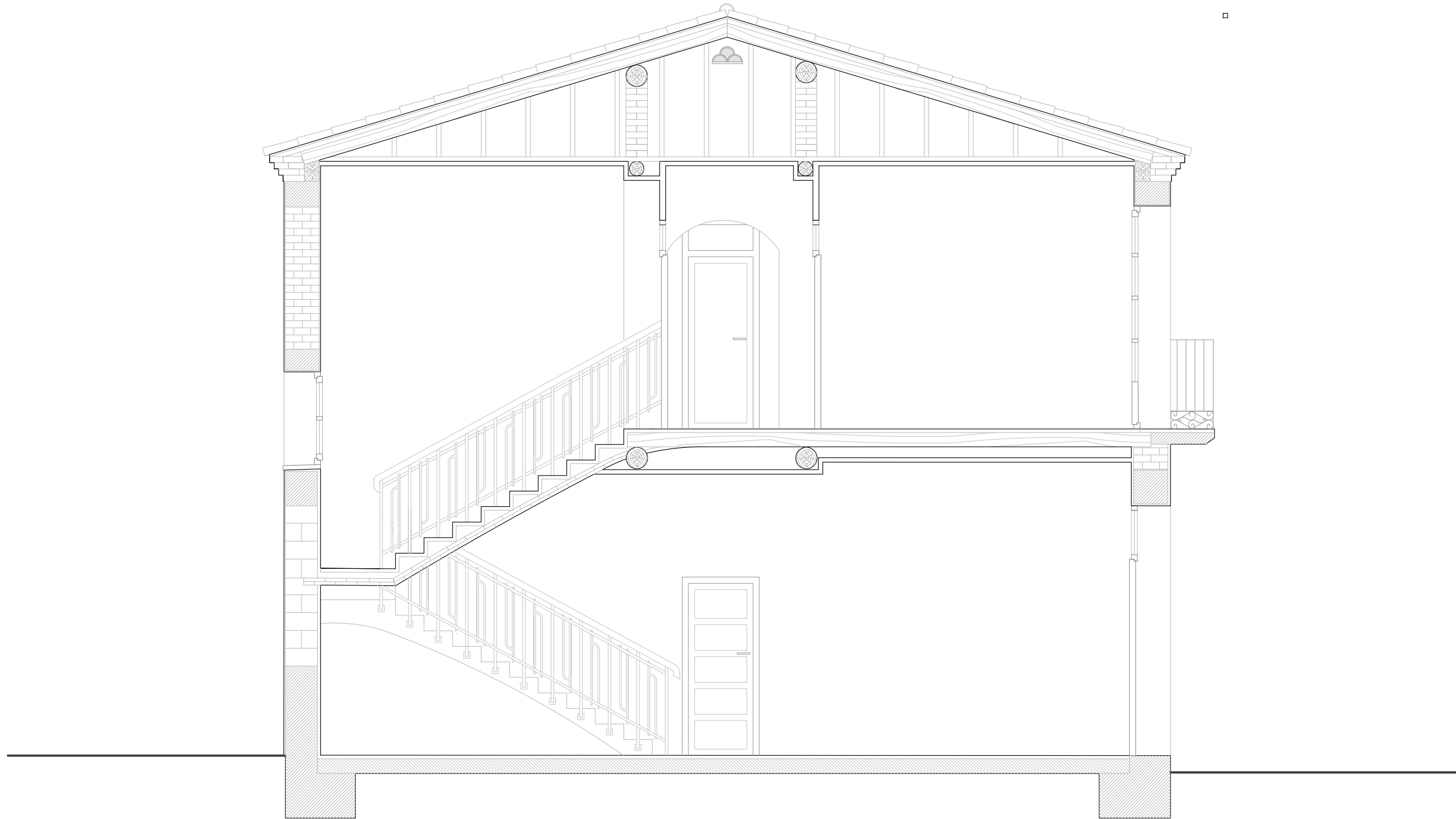
JUNIO 2024

PLANO: SECCIONES

ESC. 1:100

08





## TRABAJO FIN DE GRADO

ANÁLISIS DE VIABILIDAD DE LA REHABILITACIÓN ENERGÉTICA CON MATERIALES NATURALES  
Y DE PROXIMIDAD EN EL MEDIO RURAL: CASO DE ESTUDIO EN EL CAMPO DE BORJA

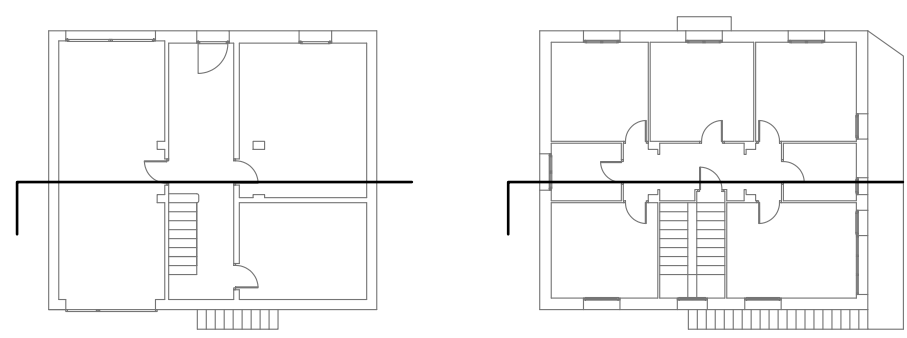
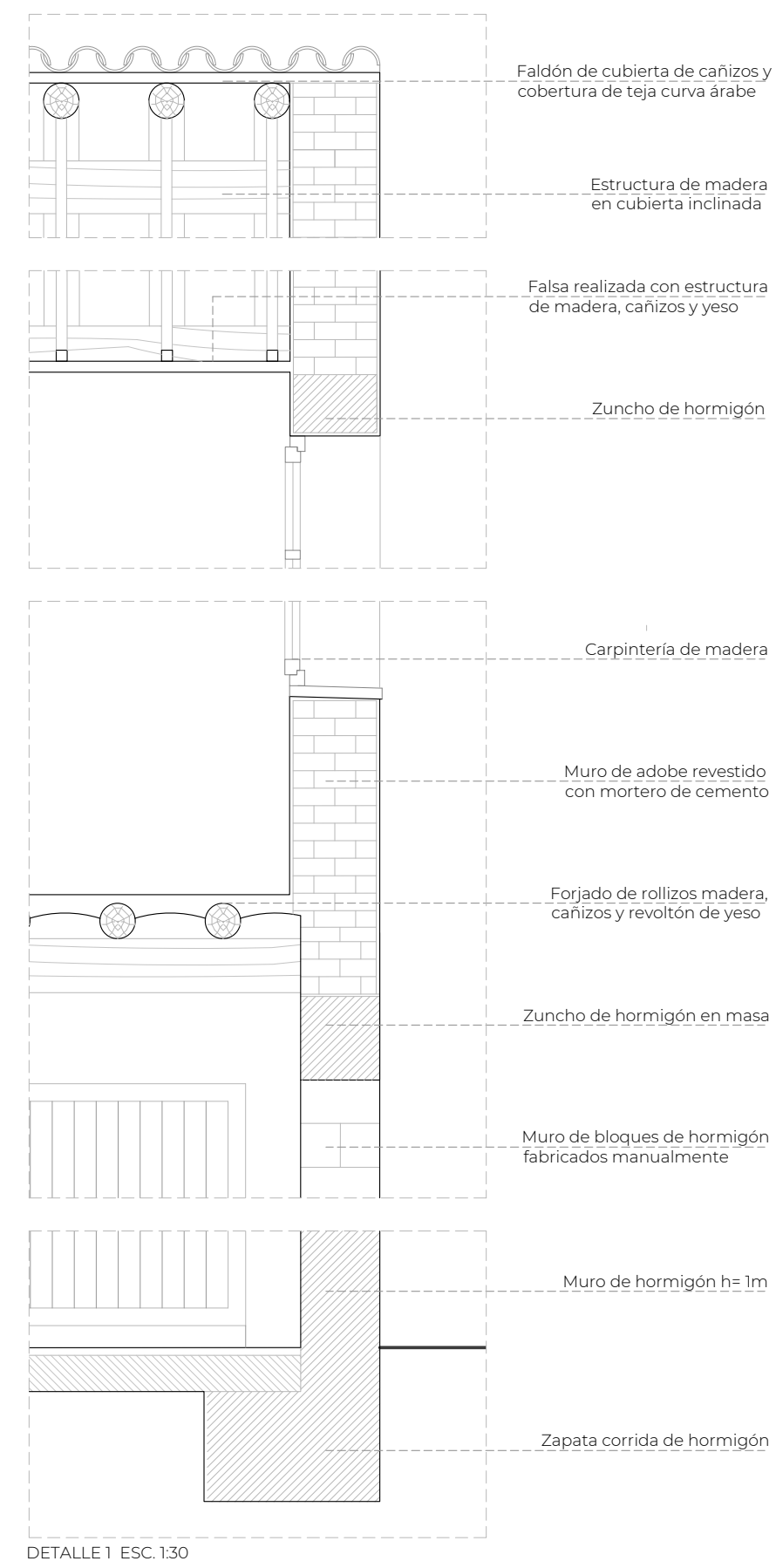
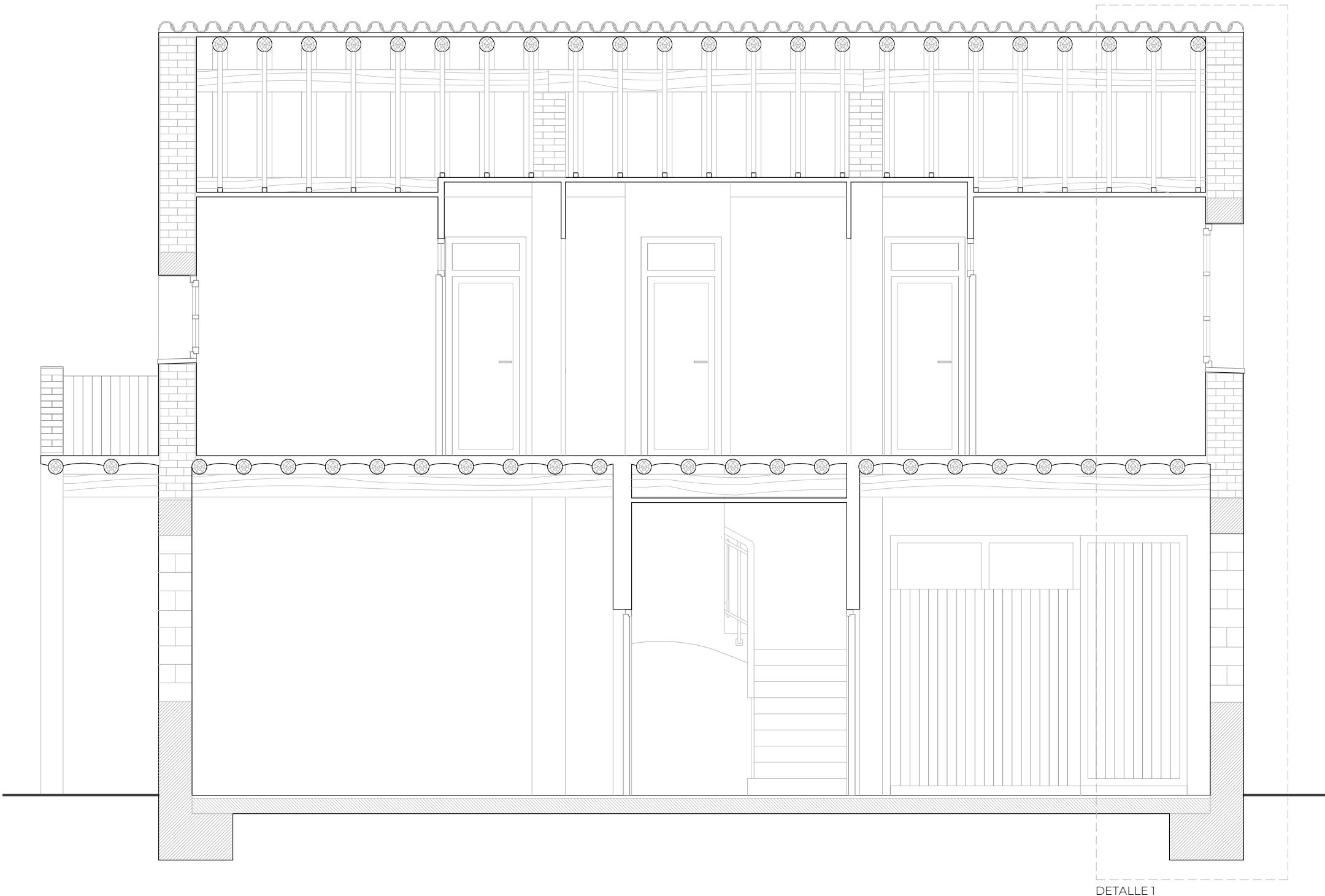
ELENA TABUENCA AZCONA

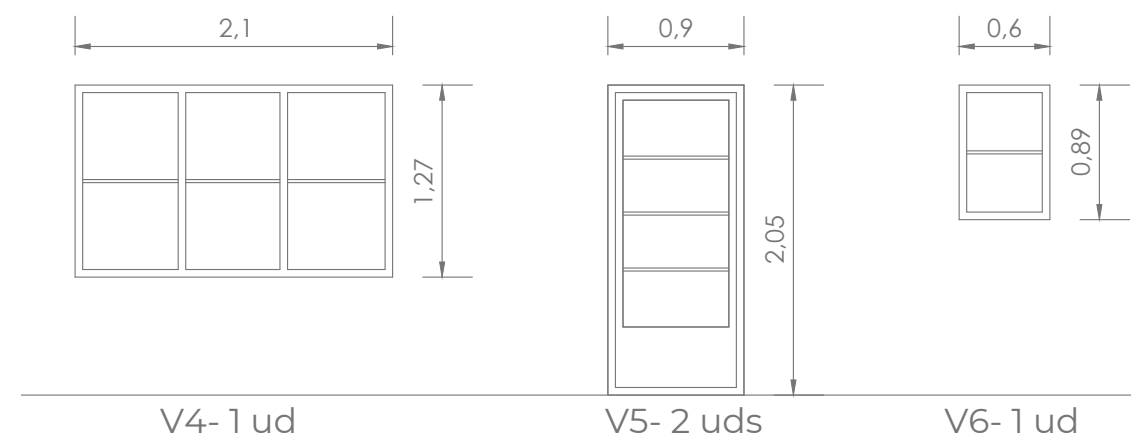
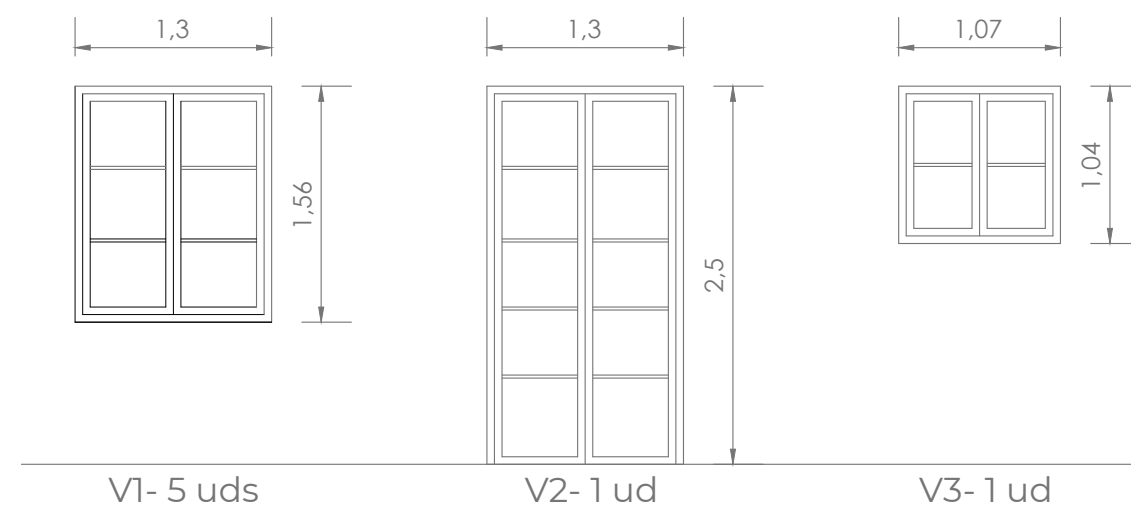
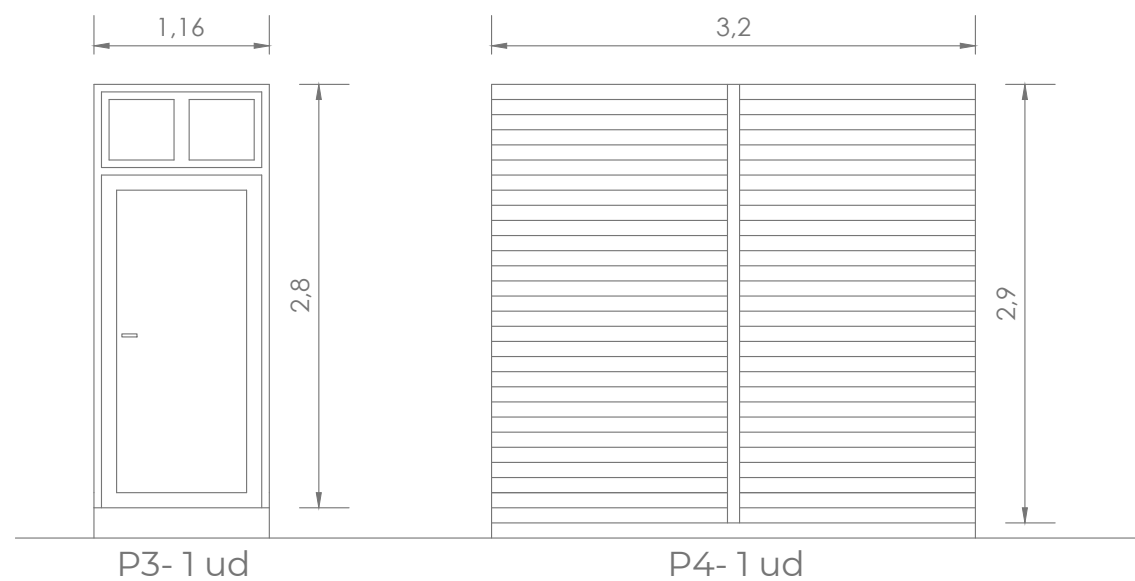
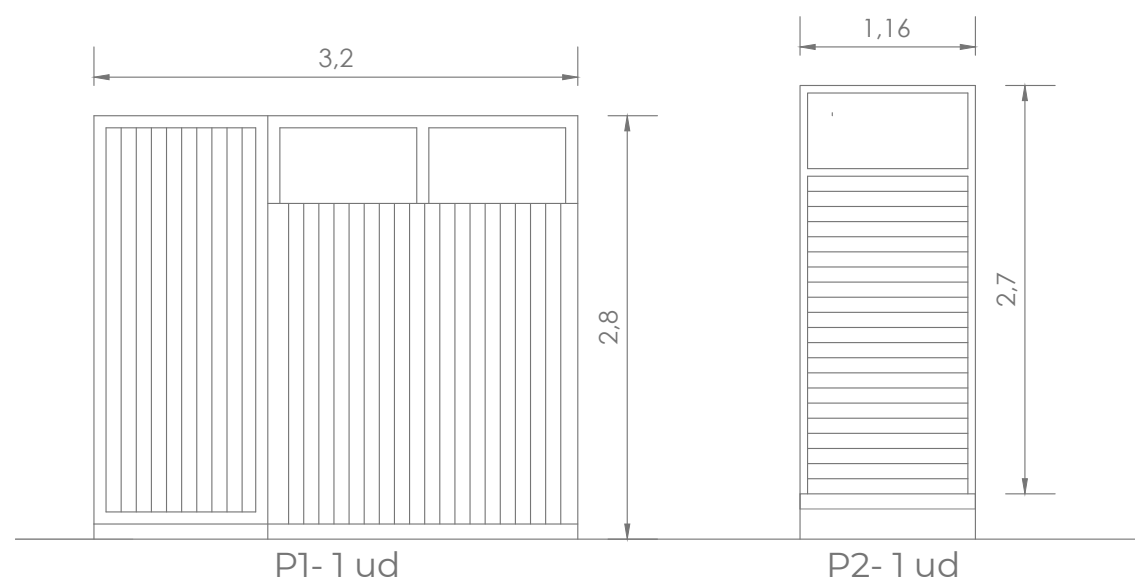
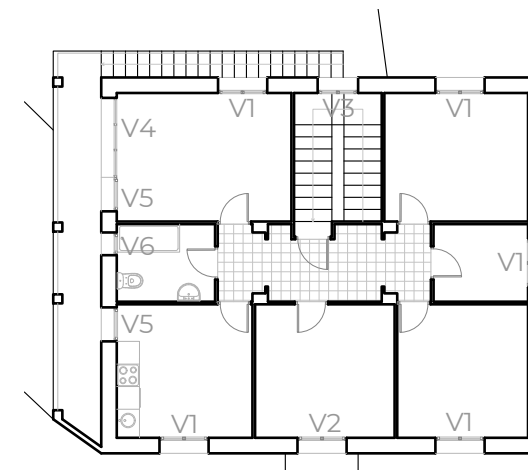
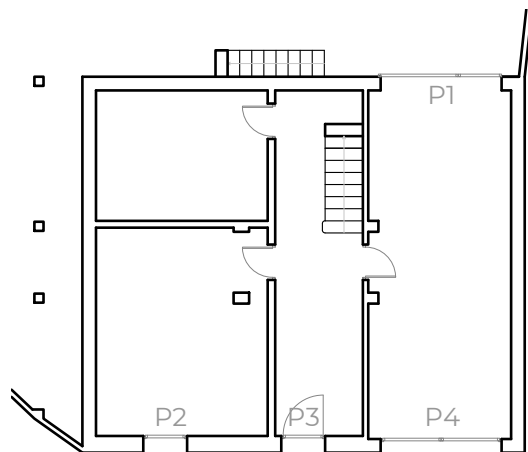
JUNIO 2024

PLANO: SECCIÓN CONSTRUCTIVA 1

ESC. 1:50

09





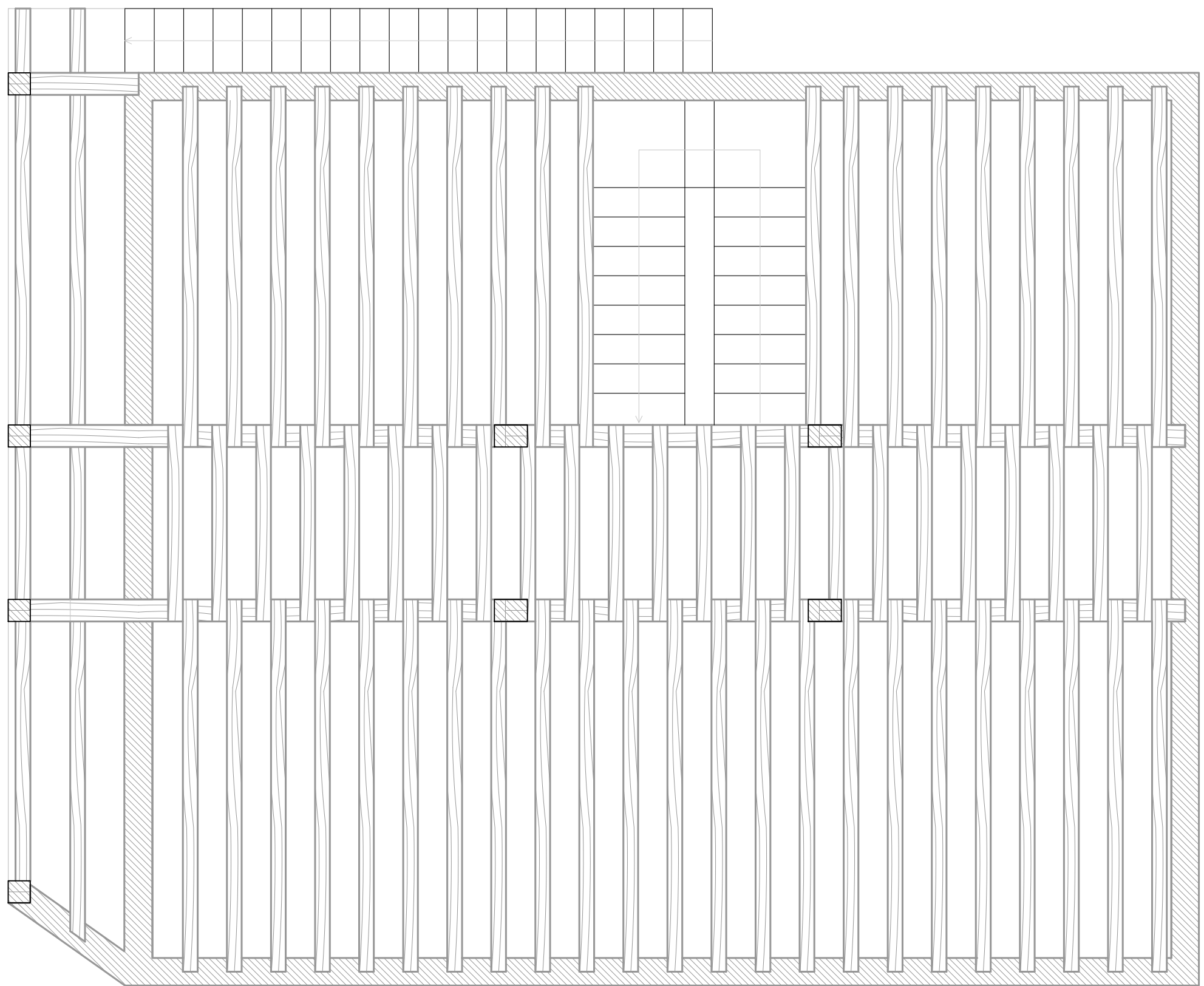
## TRABAJO FIN DE GRADO

ANÁLISIS DE VIABILIDAD DE LA REHABILITACIÓN ENERGÉTICA CON MATERIALES NATURALES  
Y DE PROXIMIDAD EN EL MEDIO RURAL: CASO DE ESTUDIO EN EL CAMPO DE BORJA

ELENA TABUENCA AZCONA

JUNIO 2024

PLANO: CARPINTERIAS



**TRABAJO FIN DE GRADO**

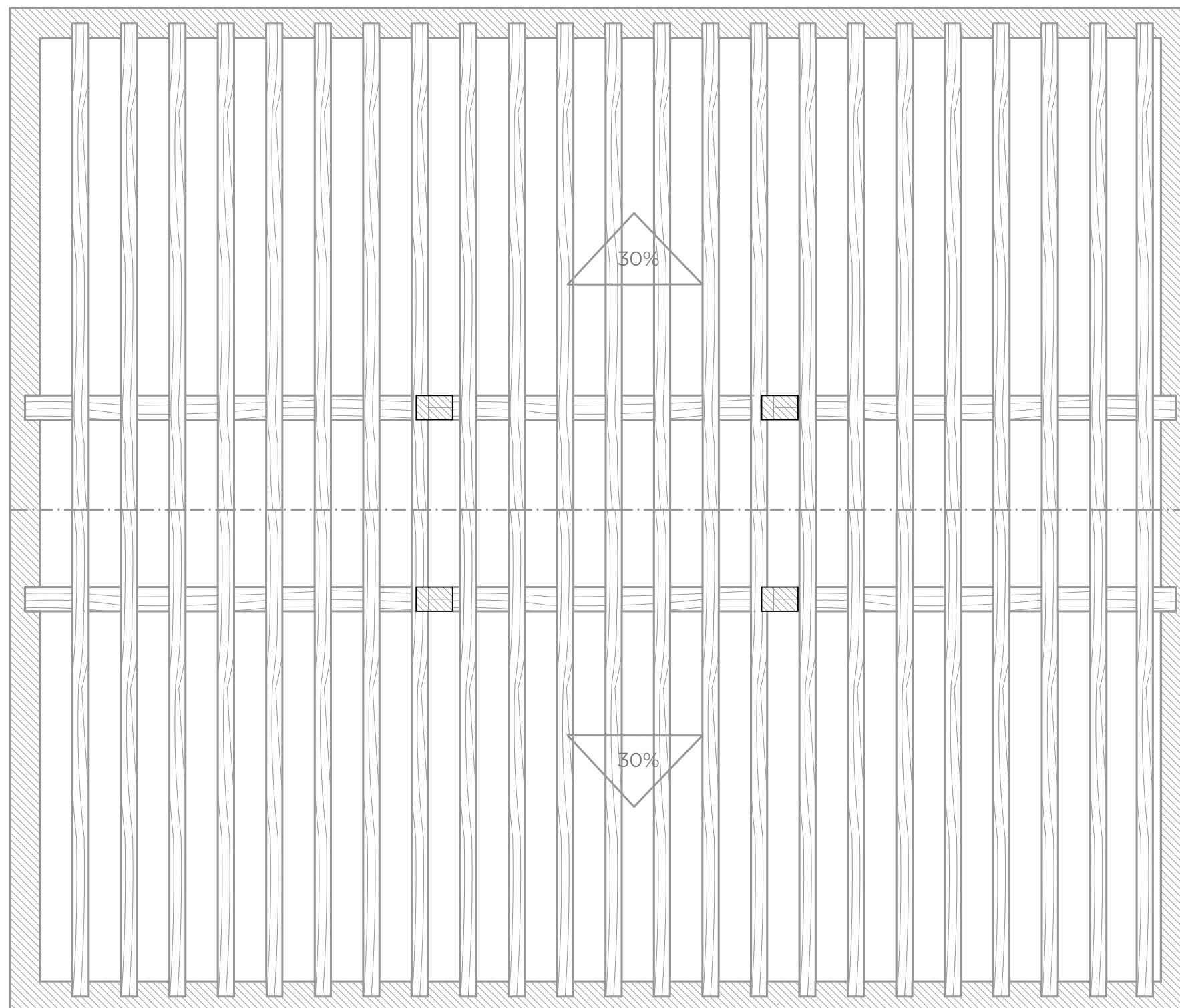
ANÁLISIS DE VIABILIDAD DE LA REHABILITACIÓN ENERGÉTICA CON MATERIALES NATURALES  
Y DE PROXIMIDAD EN EL MEDIO RURAL: CASO DE ESTUDIO EN EL CAMPO DE BORJA  
ELENA TABUENCA AZCONA

JUNIO 2024

PLANO: ESTRUCTURA TECHO PLANTA BAJA



ESC. 1:50



## TRABAJO FIN DE GRADO

ANÁLISIS DE VIABILIDAD DE LA REHABILITACIÓN ENERGÉTICA CON MATERIALES NATURALES  
Y DE PROXIMIDAD EN EL MEDIO RURAL: CASO DE ESTUDIO EN EL CAMPO DE BORJA

ELENA TABUENCA AZCONA

JUNIO 2024

PLANO: ESTRUCTURA CUBIERTA

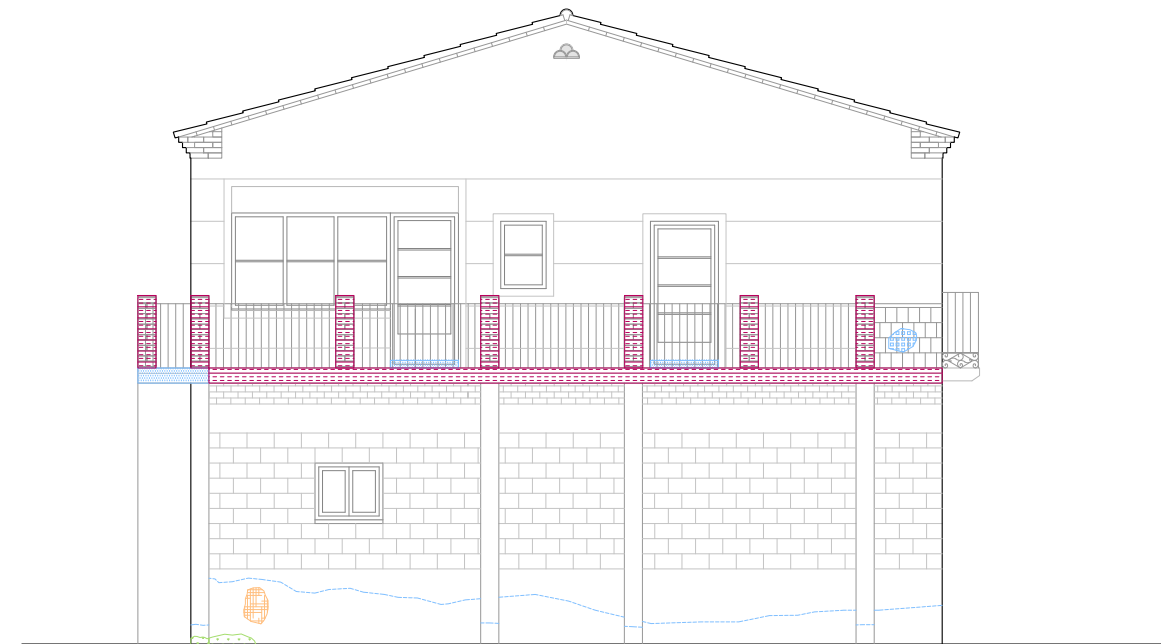


ESC. 1:50

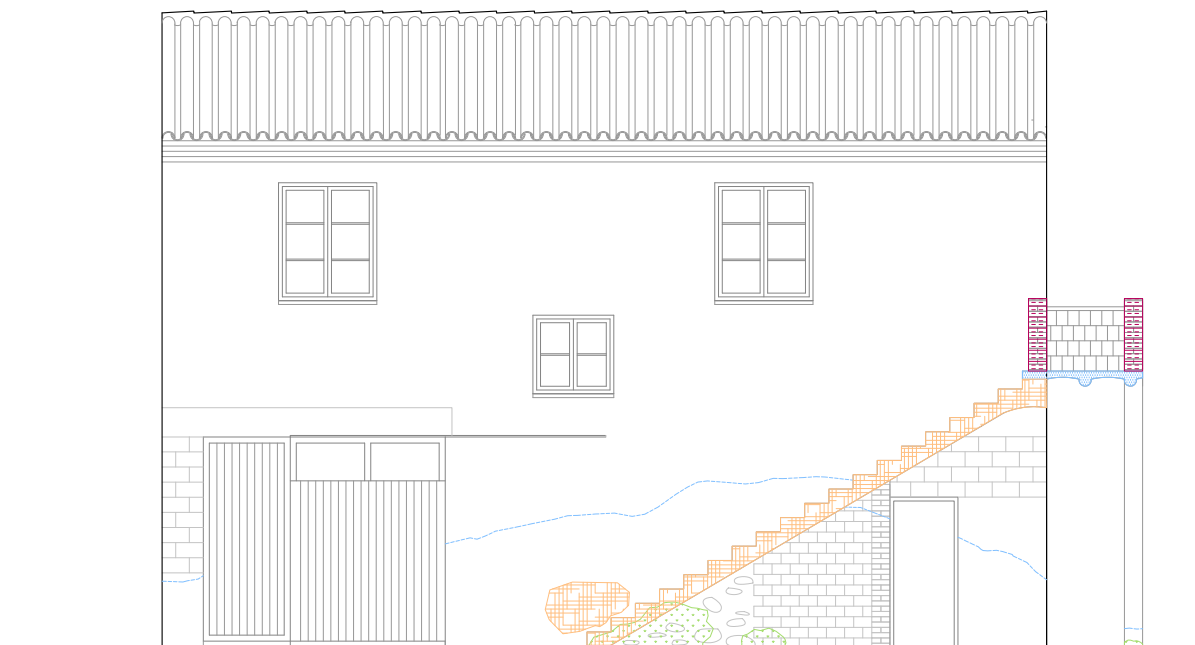




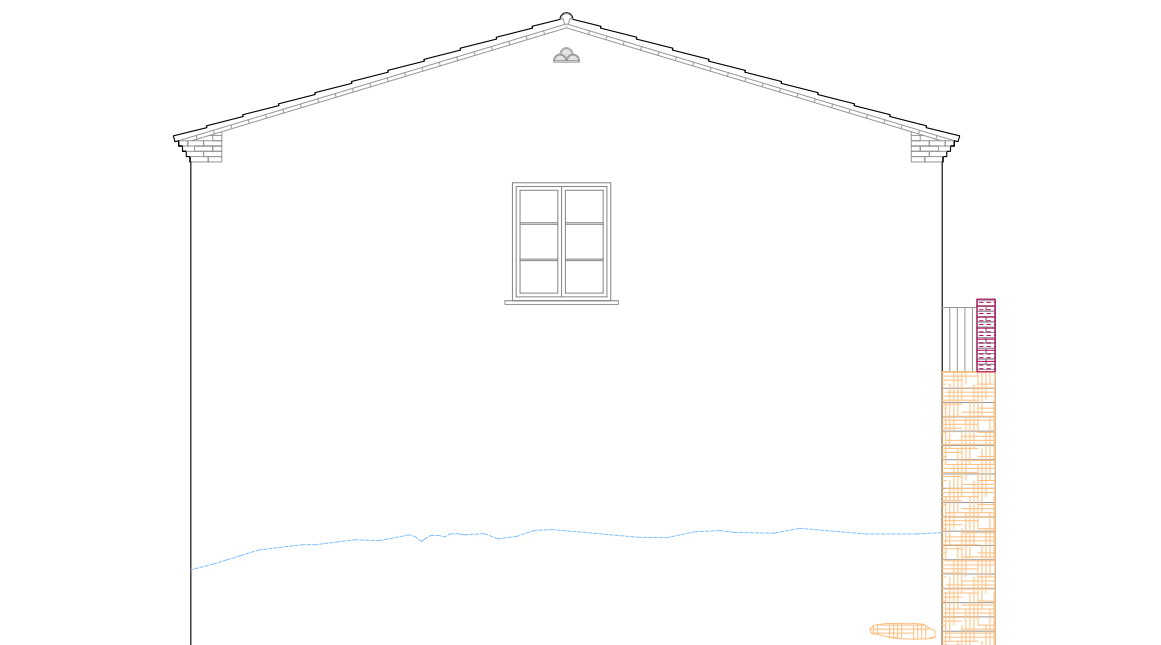
FACHADA ESTE



FACHADA SUR



FACHADA OESTE



FACHADA NORTE

|                    |               |  |                                 |
|--------------------|---------------|--|---------------------------------|
| Lesiones Físicas   | Humedad       |  | Capilar                         |
|                    |               |  | De filtración                   |
|                    |               |  | Accidental                      |
| Lesiones Mecánicas | Deformaciones |  | Suciedad por lavado diferencial |
|                    |               |  | Flechas                         |
|                    |               |  | Desplomes                       |
| Lesiones Químicas  |               |  | Desprendimientos                |
|                    |               |  | Eflorescencias                  |
|                    |               |  | Plantas                         |

## TRABAJO FIN DE GRADO

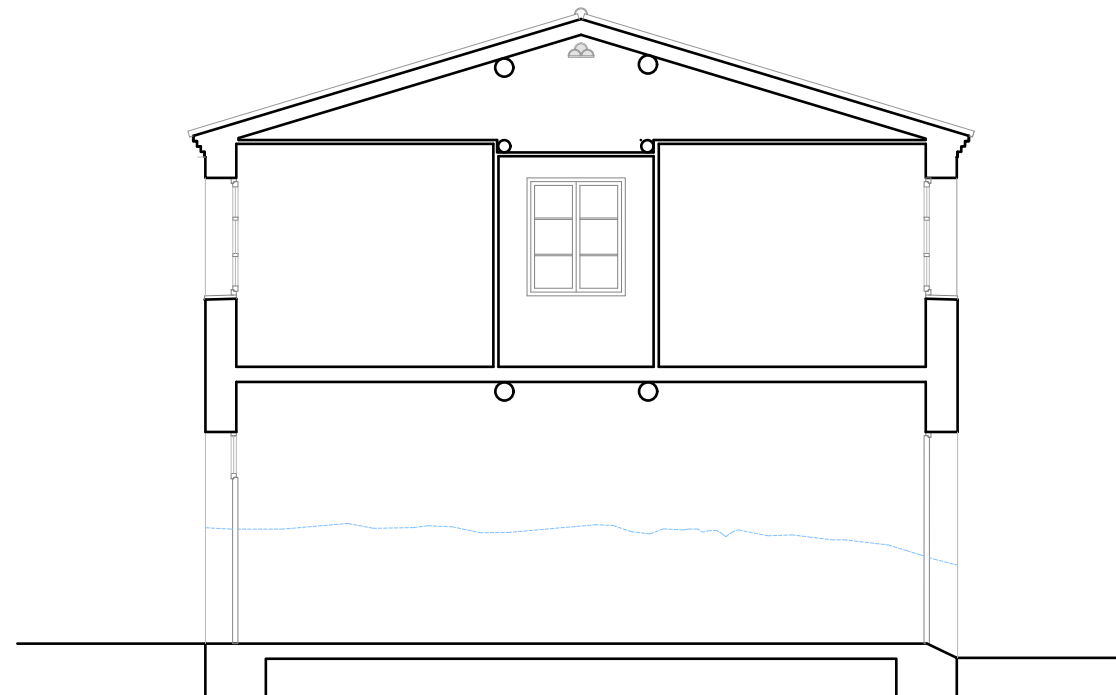
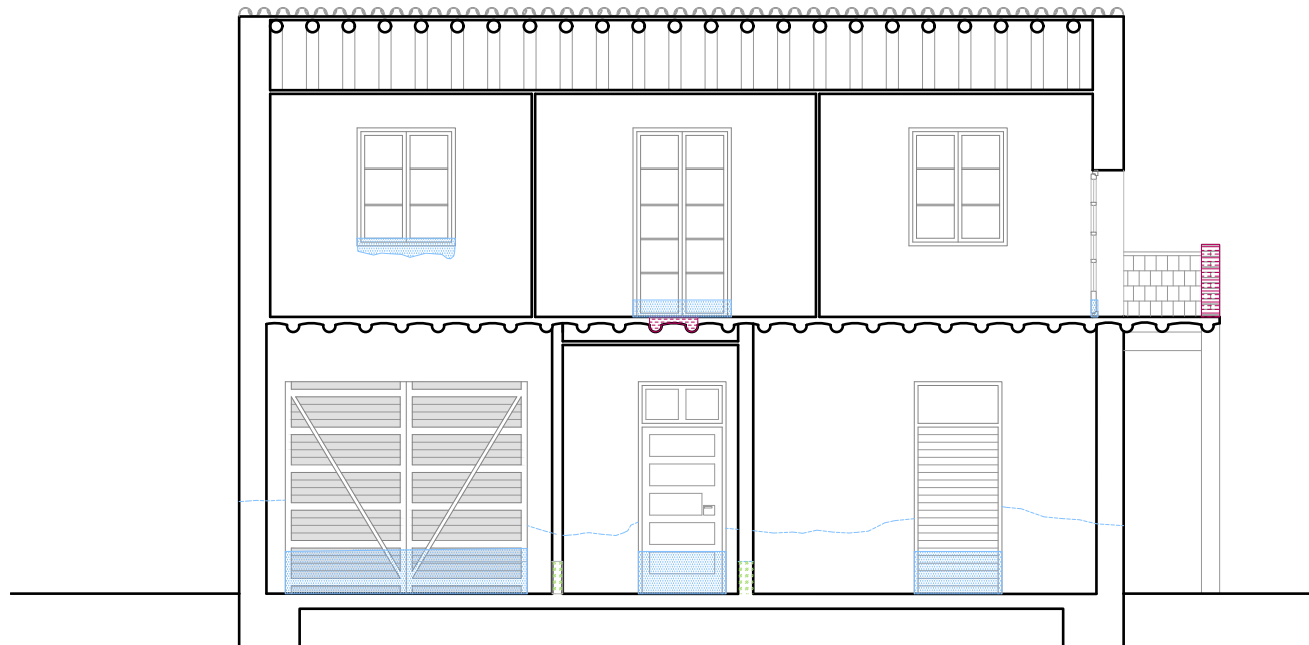
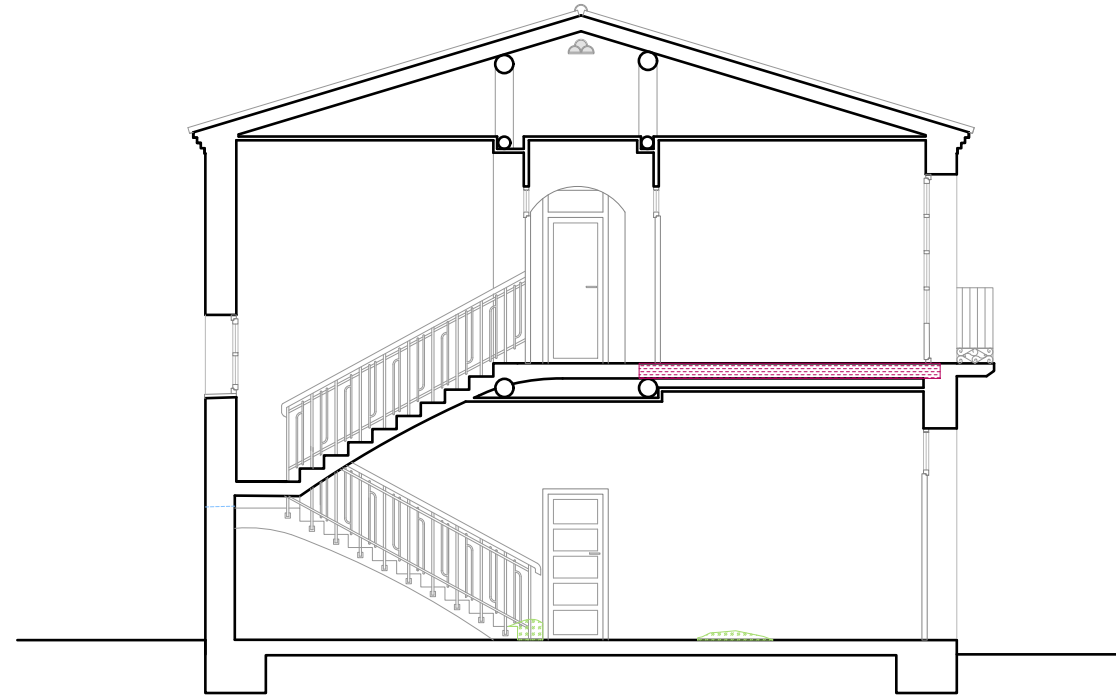
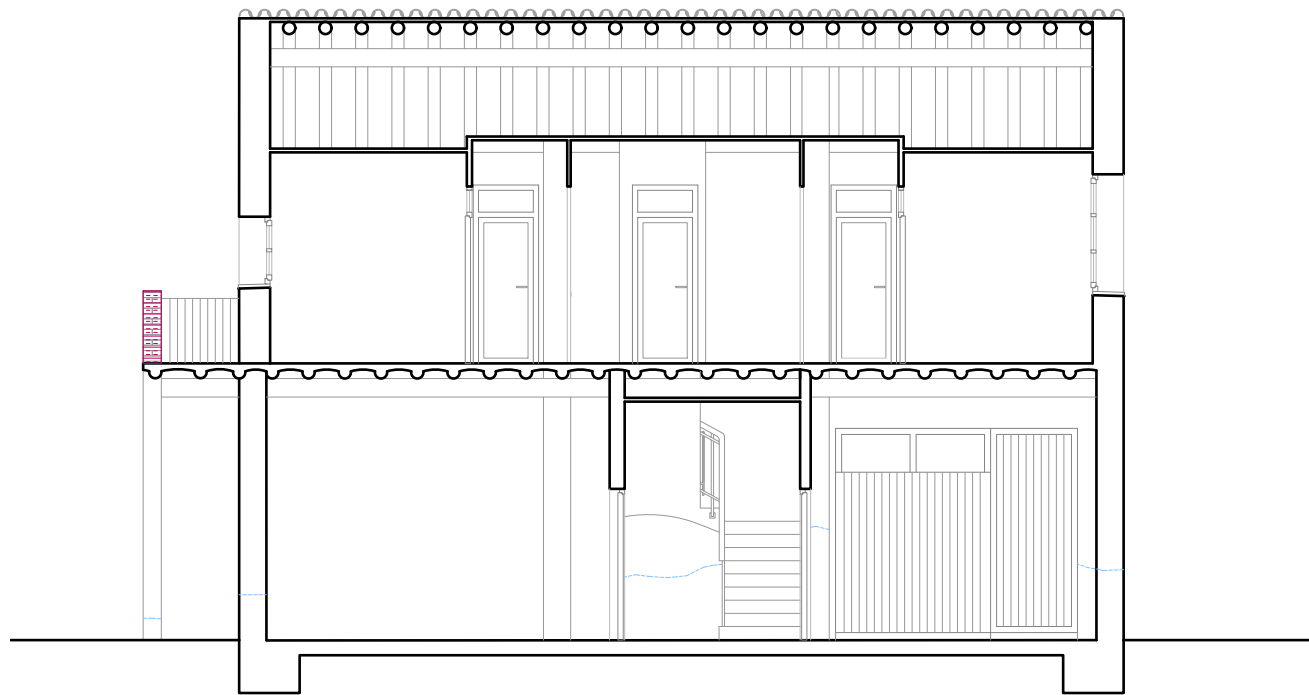
ANÁLISIS DE VIABILIDAD DE LA REHABILITACIÓN ENERGÉTICA CON MATERIALES NATURALES Y DE PROXIMIDAD EN EL MEDIO RURAL: CASO DE ESTUDIO EN EL CAMPO DE BORJA

ELENA TABUENCA AZCONA

JUNIO 2024

PLANO: PATOLOGÍAS EXTERIORES

ESC. 1:100



|                    |               |  |                                 |
|--------------------|---------------|--|---------------------------------|
| Lesiones Físicas   | Humedad       |  | Capilar                         |
|                    |               |  | De filtración                   |
|                    |               |  | Accidental                      |
| Lesiones Mecánicas | Deformaciones |  | Suciedad por lavado diferencial |
|                    |               |  | Flechas                         |
|                    |               |  | Desplomes                       |
| Lesiones Químicas  |               |  | Desprendimientos                |
|                    |               |  | Eflorescencias                  |
|                    |               |  | Plantas                         |

## TRABAJO FIN DE GRADO

ANÁLISIS DE VIABILIDAD DE LA REHABILITACIÓN ENERGÉTICA CON MATERIALES NATURALES Y DE PROXIMIDAD EN EL MEDIO RURAL: CASO DE ESTUDIO EN EL CAMPO DE BORJA

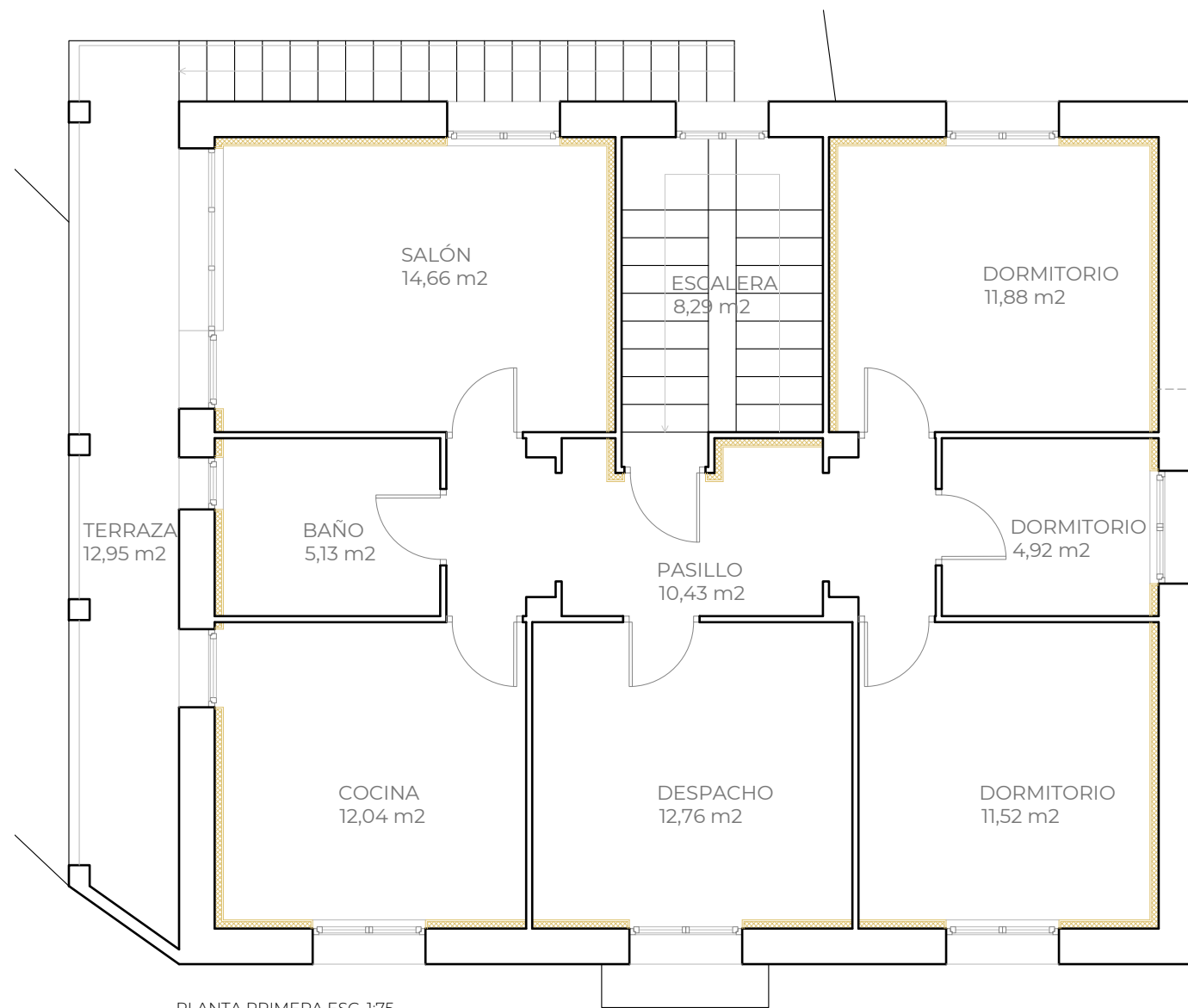
ELENA TABUENCA AZCONA

JUNIO 2024

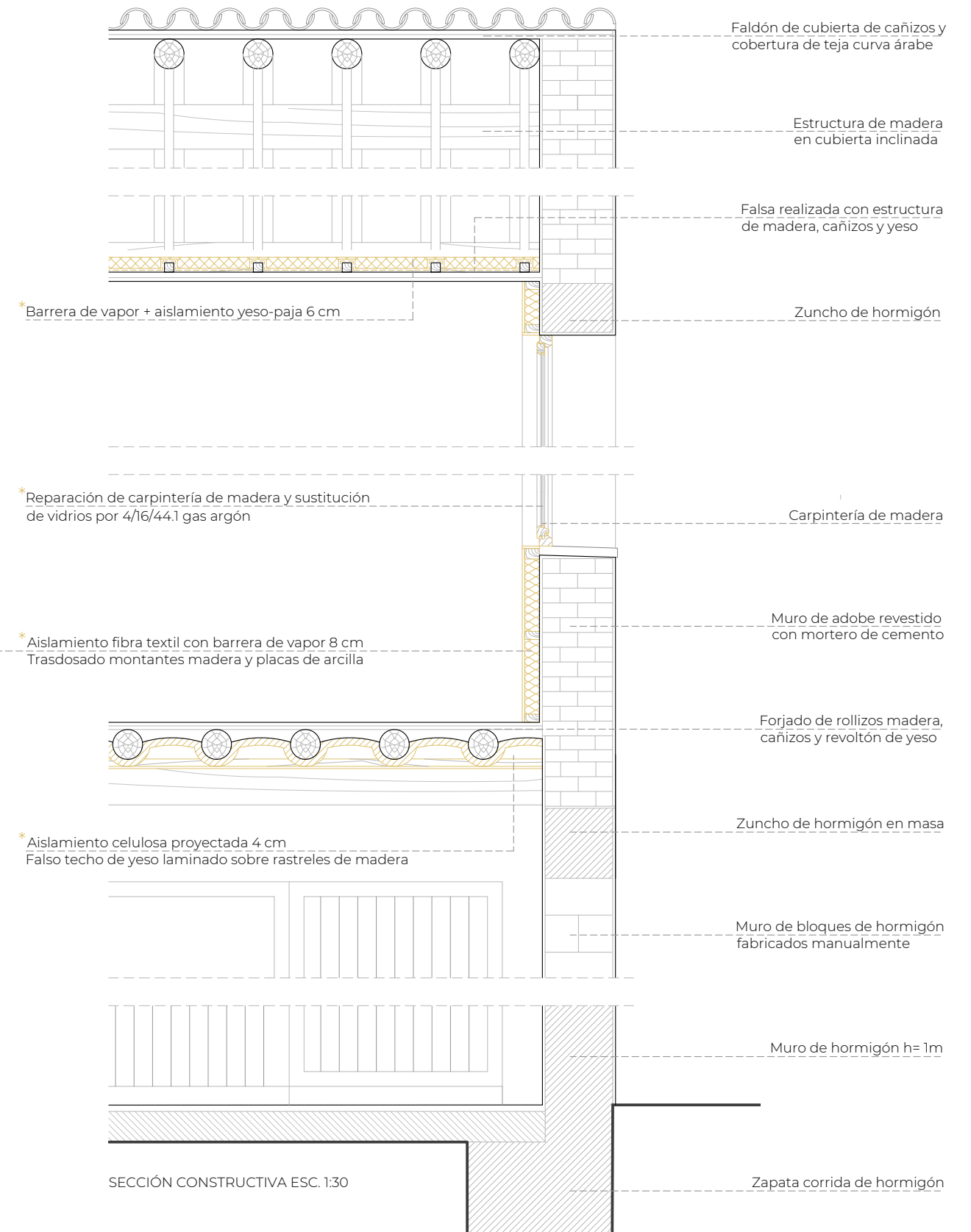
PLANO: PATOLOGÍAS INTERIORES

ESC. 1:100

15



PLANTA PRIMERA ESC. 1:75



SECCIÓN CONSTRUCTIVA ESC. 1:30

\* PROPUESTAS DE REHABILITACIÓN ENERGÉTICA

## TRABAJO FIN DE GRADO

ANÁLISIS DE VIABILIDAD DE LA REHABILITACIÓN ENERGÉTICA CON MATERIALES NATURALES Y DE PROXIMIDAD EN EL MEDIO RURAL: CASO DE ESTUDIO EN EL CAMPO DE BORJA

ELENA TABUENCA AZCONA

JUNIO 2024

PLANO: PROPUESTA REHABILITACIÓN ENERGÉTICA

ESC. 1:30

**ANEXO II: Certificado de eficiencia energética del estado actual de la vivienda.**

# CERTIFICADO DE EFICIENCIA ENERGÉTICA DE EDIFICIOS

## IDENTIFICACIÓN DEL EDIFICIO O DE LA PARTE QUE SE CERTIFICA:

|   |                         |                    |        |
|---|-------------------------|--------------------|--------|
| Nombre del edificio                               | Vivienda Maleján        |                    |        |
| Dirección   | C/ Mayor 5              |                    |        |
| Municipio   | Maleján                 | Código Postal      | 50549  |
| Provincia   | Zaragoza                | Comunidad Autónoma | Aragón |
| Zona climática                                    | D3                      | Año construcción   | 1955   |
| Normativa vigente (construcción / rehabilitación) | Anterior a la NBE-CT-79 |                    |        |
| Referencia/s catastral/es                         | 0519103XM2301H0001ET    |                    |        |

## Tipo de edificio o parte del edificio que se certifica:

|  |   |
|--|---|
| <input type="radio"/> Edificio de nueva construcción   | <input checked="" type="radio"/> Edificio Existente   |
| <input checked="" type="radio"/> Vivienda <ul style="list-style-type: none"><li><input checked="" type="radio"/> Unifamiliar</li><li><input type="radio"/> Bloque<ul style="list-style-type: none"><li><input type="radio"/> Bloque completo</li><li><input type="radio"/> Vivienda individual</li></ul></li></ul> | <input type="radio"/> Terciario <ul style="list-style-type: none"><li><input type="radio"/> Edificio completo</li><li><input type="radio"/> Local</li></ul> |

## DATOS DEL TÉCNICO CERTIFICADOR:

|  |                       |                    |        |
|--|-----------------------|--------------------|--------|
| Nombre y Apellidos   | Elena Tabuenca Azcona | NIF(NIE)           |        |
| Razón social   | Elena Tabuenca Azcona | NIF                |        |
| Domicilio  |                       |                    |        |
| Municipio  | Zaragoza              | Código Postal      |        |
| Provincia  | Zaragoza              | Comunidad Autónoma | Aragón |
| e-mail:  |                       | Teléfono           |        |
| Titulación habilitante según normativa vigente                           | Arquitecto            |                    |        |
| Procedimiento reconocido de calificación energética utilizado y versión: | CEXv2.3               |                    |        |

## CALIFICACIÓN ENERGÉTICA OBTENIDA:

| CONSUMO DE ENERGÍA PRIMARIA NO RENOVABLE<br>[kWh/m² año]  | EMISIONES DE DIÓXIDO DE CARBONO<br>[kgCO2/ m² año]   |
|---|--|
| <div><div>&lt; 54.2 A</div><div>54.2-87.8 B</div><div>87.8-136.1 C</div><div>136.1-209.3 D</div><div>209.3-375.6 E</div><div>375.6-473.2 F</div><div>≥ 473.2 G</div></div> <div>260.1 E</div> | <div><div>&lt; 12.2 A</div><div>12.2-19.9 B</div><div>19.9-30.8 C</div><div>30.8-47.3 D</div><div>47.3-83.7 E</div><div>83.7-100.4 F</div><div>≥ 100.4 G</div></div> <div>48.3 E</div> |

El técnico abajo firmante declara responsablemente que ha realizado la certificación energética del edificio o de la parte que se certifica de acuerdo con el procedimiento establecido por la normativa vigente y que son ciertos los datos que figuran en el presente documento, y sus anexos:

Fecha: 19/02/2024

Firma del técnico certificador

**Anexo I.** Descripción de las características energéticas del edificio.

**Anexo II.** Calificación energética del edificio.

**Anexo III.** Recomendaciones para la mejora de la eficiencia energética.

**Anexo IV.** Pruebas, comprobaciones e inspecciones realizadas por el técnico certificador.

Registro del Órgano Territorial Competente:



# ANEXO I

## DESCRIPCIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS ENERGÉTICAS DEL EDIFICIO

En este apartado se describen las características energéticas del edificio, envolvente térmica, instalaciones, condiciones de funcionamiento y ocupación y demás datos utilizados para obtener la calificación energética del edificio.

### 1. SUPERFICIE, IMAGEN Y SITUACIÓN

|   |  |
|---|--|
| Superficie habitable [m <sup>2</sup> ]  | 87.69  |
| Imagen del edificio   | Plano de situación   |
|  |  |

### 2. ENVOLVENTE TÉRMICA

#### Cerramientos opacos

| Nombre            | Tipo               | Superficie [m <sup>2</sup> ] | Transmitancia [W/m <sup>2</sup> ·K] | Modo de obtención |
|-------------------|--------------------|------------------------------|-------------------------------------|-------------------|
| Fachada norte     | Fachada            | 27.29                        | 1.69                                | Conocidas         |
| Fachada sur       | Fachada            | 22.43                        | 1.69                                | Conocidas         |
| Fachada este      | Fachada            | 27.21                        | 1.69                                | Conocidas         |
| Fachada oeste     | Fachada            | 23.61                        | 1.69                                | Conocidas         |
| Muro escalera     | Partición Interior | 29.26                        | 1.33                                | Estimadas         |
| Falsa             | Partición Interior | 90.23                        | 0.68                                | Estimadas         |
| Forjado planta 1ª | Partición Interior | 90.23                        | 1.01                                | Conocidas         |

#### Huecos y lucernarios

| Nombre | Tipo  | Superficie [m <sup>2</sup> ] | Transmitancia [W/m <sup>2</sup> ·K] | Factor solar | Modo de obtención. Transmitancia | Modo de obtención. Factor solar |
|--------|-------|------------------------------|-------------------------------------|--------------|----------------------------------|---------------------------------|
| V1.s   | Hueco | 2.03                         | 5.00                                | 0.67         | Estimado                         | Estimado                        |
| V4     | Hueco | 2.67                         | 5.00                                | 0.67         | Estimado                         | Estimado                        |
| V5     | Hueco | 3.69                         | 4.30                                | 0.52         | Estimado                         | Estimado                        |
| V6     | Hueco | 0.53                         | 5.00                                | 0.67         | Estimado                         | Estimado                        |
| V1.e   | Hueco | 4.06                         | 5.00                                | 0.67         | Estimado                         | Estimado                        |
| V2     | Hueco | 3.25                         | 5.00                                | 0.67         | Estimado                         | Estimado                        |
| V1.o   | Hueco | 4.06                         | 5.00                                | 0.67         | Estimado                         | Estimado                        |

3. INSTALACIONES TÉRMICAS

Generadores de calefacción

| Nombre           | Tipo             | Potencia nominal [kW] | Rendimiento Estacional [%] | Tipo de Energía        | Modo de obtención |
|------------------|------------------|-----------------------|----------------------------|------------------------|-------------------|
| Estufa leña      | Caldera Estándar | 10                    | 57.6                       | Biomasa no densificada | Estimado          |
| Estufa electrica | Efecto Joule     |                       | 100.0                      | Electricidad           | Estimado          |
| TOTALES          | Calefacción      |                       |                            |                        |                   |

Generadores de refrigeración

| Nombre  | Tipo          | Potencia nominal [kW] | Rendimiento Estacional [%] | Tipo de Energía | Modo de obtención |
|---------|---------------|-----------------------|----------------------------|-----------------|-------------------|
|         |               |                       |                            |                 |                   |
| TOTALES | Refrigeración |                       |                            |                 |                   |

Instalaciones de Agua Caliente Sanitaria

|  |       |
|--|-------|
| Demanda diaria de ACS a 60° (litros/día) | 112.0 |
|--|-------|

| Nombre         | Tipo             | Potencia nominal [kW] | Rendimiento Estacional [%] | Tipo de Energía | Modo de obtención |
|----------------|------------------|-----------------------|----------------------------|-----------------|-------------------|
| Calentador gas | Caldera Estándar | 5                     | 54.3                       | Gas Natural     | Estimado          |
| TOTALES        | ACS              |                       |                            |                 |                   |

## ANEXO II CALIFICACIÓN ENERGÉTICA DEL EDIFICIO

|                |    |     |             |
|----------------|----|-----|-------------|
| Zona climática | D3 | Uso | Residencial |
|----------------|----|-----|-------------|

### 1. CALIFICACIÓN ENERGÉTICA DEL EDIFICIO EN EMISIONES

| INDICADOR GLOBAL   |        | INDICADORES PARCIALES                |  |                              |                                      |   |
|--|--------|--------------------------------------|--|------------------------------|--------------------------------------|---|
| <div><div>&lt; 12.2 A</div><div>12.2-19.9 B</div><div>19.9-30.8 C</div><div>30.8-47.3 D</div><div>47.3-83.7 E</div><div>83.7-100.4 F</div><div>≥ 100.4 G</div></div> | 48.3 E | CALEFACCIÓN                          |  | ACS                          |                                      |   |
|  |        | Emisiones calefacción [kgCO2/m² año] | D                                      | Emisiones ACS [kgCO2/m² año] | G                                    |   |
|  |        | 32.36                                |  | 11.69                        |                                      |   |
|  |        | REFRIGERACIÓN                        |  | ILUMINACIÓN                  |                                      |   |
|  |        | Emisiones globales [kgCO2/m² año]    | Emisiones refrigeración [kgCO2/m² año] | C                            | Emisiones iluminación [kgCO2/m² año] | - |
|  |        |                                      | 4.24                                   |                              | -                                    |   |

La calificación global del edificio se expresa en términos de dióxido de carbono liberado a la atmósfera como consecuencia del consumo energético del mismo.

|                                      | kgCO2/m² año | kgCO2/año |
|--------------------------------------|--------------|-----------|
| Emisiones CO2 por consumo eléctrico  | 33.80        | 2963.99   |
| Emisiones CO2 por otros combustibles | 14.49        | 1270.76   |

### 2. CALIFICACIÓN ENERGÉTICA DEL EDIFICIO EN CONSUMO DE ENERGÍA PRIMARIA NO RENOVABLE

Por energía primaria no renovable se entiende la energía consumida por el edificio procedente de fuentes no renovables que no ha sufrido ningún proceso de conversión o transformación.

| INDICADOR GLOBAL   |                    | INDICADORES PARCIALES  |   |   |   |   |   |
|--|--------------------|--|---|---|---|---|---|
| <div><div>&lt; 54.2 A</div><div>54.2-87.8 B</div><div>87.8-136.1 C</div><div>136.1-209.3 D</div><div>209.3-375.6 E</div><div>375.6-473.2 F</div><div>≥ 473.2 G</div></div> | <div>260.1 E</div> | CALEFACCIÓN  |   | ACS   |   |   |   |
|  |                    | Energía primaria calefacción [kWh/m² año]                    | E | Energía primaria ACS [kWh/m² año]           | G |   |   |
|  |                    | 179.83   |   | 55.22                                       |   |   |   |
|  |                    | REFRIGERACIÓN  |   | ILUMINACIÓN                                 |   |   |   |
|  |                    | Consumo global de energía primaria no renovable [kWh/m² año] |   | Energía primaria refrigeración [kWh/m² año] | D | Energía primaria iluminación [kWh/m² año] | - |
|  |                    |  |   | 25.01                                       |   | -   |   |

### 3. CALIFICACIÓN PARCIAL DE LA DEMANDA ENERGÉTICA DE CALEFACCIÓN Y REFRIGERACIÓN

La demanda energética de calefacción y refrigeración es la energía necesaria para mantener las condiciones internas de confort del edificio.

| DEMANDA DE CALEFACCIÓN   |                    | DEMANDA DE REFRIGERACIÓN   |                   |
|--|--------------------|--|-------------------|
| <div><div>&lt; 28.9 A</div><div>28.9-46.8 B</div><div>46.8-72.6 C</div><div>72.6-111.6 D</div><div>111.6-178.3 E</div><div>178.3-208.6 F</div><div>≥ 208.6 G</div></div> | <div>178.7 F</div> | <div><div>&lt; 10.0 A</div><div>10.0-14.3 B</div><div>14.3-20.4 C</div><div>20.4-29.7 D</div><div>29.7-36.7 E</div><div>36.7-45.1 F</div><div>≥ 45.1 G</div></div> | <div>25.6 D</div> |
| Demanda de calefacción [kWh/m² año]  |                    | Demanda de refrigeración [kWh/m² año]  |                   |

El indicador global es resultado de la suma de los indicadores parciales más el valor del indicador para consumos auxiliares, si los hubiera (sólo ed. terciarios, ventilación, bombeo, etc...). La energía eléctrica autoconsumida se descuenta únicamente del indicador global, no así de los valores parciales

**ANEXO III: Certificado de eficiencia energética de la propuesta de rehabilitación energética con materiales naturales y de proximidad.**

# CERTIFICADO DE EFICIENCIA ENERGÉTICA DE EDIFICIOS

## IDENTIFICACIÓN DEL EDIFICIO O DE LA PARTE QUE SE CERTIFICA:

|   |                         |                    |        |
|---|-------------------------|--------------------|--------|
| Nombre del edificio                               | Vivienda Maleján        |                    |        |
| Dirección   | C/ Mayor 5              |                    |        |
| Municipio   | Maleján                 | Código Postal      | 50549  |
| Provincia   | Zaragoza                | Comunidad Autónoma | Aragón |
| Zona climática                                    | D3                      | Año construcción   | 1955   |
| Normativa vigente (construcción / rehabilitación) | Anterior a la NBE-CT-79 |                    |        |
| Referencia/s catastral/es                         | 0519103XM2301H0001ET    |                    |        |

## Tipo de edificio o parte del edificio que se certifica:

|  |   |
|--|---|
| <input type="radio"/> Edificio de nueva construcción   | <input checked="" type="radio"/> Edificio Existente   |
| <input checked="" type="radio"/> Vivienda <ul style="list-style-type: none"><li><input checked="" type="radio"/> Unifamiliar</li><li><input type="radio"/> Bloque<ul style="list-style-type: none"><li><input type="radio"/> Bloque completo</li><li><input type="radio"/> Vivienda individual</li></ul></li></ul> | <input type="radio"/> Terciario <ul style="list-style-type: none"><li><input type="radio"/> Edificio completo</li><li><input type="radio"/> Local</li></ul> |

## DATOS DEL TÉCNICO CERTIFICADOR:

|  |                       |                    |        |
|--|-----------------------|--------------------|--------|
| Nombre y Apellidos   | Elena Tabuenca Azcona | NIF(NIE)           |        |
| Razón social   | Elena Tabuenca Azcona | NIF                |        |
| Domicilio  |                       |                    |        |
| Municipio  | Zaragoza              | Código Postal      | 50014  |
| Provincia  | Zaragoza              | Comunidad Autónoma | Aragón |
| e-mail:  |                       | Teléfono           |        |
| Titulación habilitante según normativa vigente                           | Arquitecto            |                    |        |
| Procedimiento reconocido de calificación energética utilizado y versión: | CEXv2.3               |                    |        |

## CALIFICACIÓN ENERGÉTICA OBTENIDA:

| CONSUMO DE ENERGÍA PRIMARIA NO RENOVABLE<br>[kWh/m² año]  | EMISIONES DE DIÓXIDO DE CARBONO<br>[kgCO2/ m² año]   |
|---|--|
| <div><div>&lt; 54.2 A</div><div>54.2-87.8 B</div><div>87.8-136.1 C</div><div>136.1-209.3 D</div><div>209.3-375.6 E</div><div>375.6-473.2 F</div><div>≥ 473.2 G</div></div> <div>140.2 D</div> | <div><div>&lt; 12.2 A</div><div>12.2-19.9 B</div><div>19.9-30.8 C</div><div>30.8-47.3 D</div><div>47.3-83.7 E</div><div>83.7-100.4 F</div><div>≥ 100.4 G</div></div> <div>26.7 C</div> |

El técnico abajo firmante declara responsablemente que ha realizado la certificación energética del edificio o de la parte que se certifica de acuerdo con el procedimiento establecido por la normativa vigente y que son ciertos los datos que figuran en el presente documento, y sus anexos:

Fecha: 19/02/2024

Firma del técnico certificador

**Anexo I.** Descripción de las características energéticas del edificio.

**Anexo II.** Calificación energética del edificio.

**Anexo III.** Recomendaciones para la mejora de la eficiencia energética.

**Anexo IV.** Pruebas, comprobaciones e inspecciones realizadas por el técnico certificador.

Registro del Órgano Territorial Competente:

# ANEXO I

## DESCRIPCIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS ENERGÉTICAS DEL EDIFICIO

En este apartado se describen las características energéticas del edificio, envolvente térmica, instalaciones, condiciones de funcionamiento y ocupación y demás datos utilizados para obtener la calificación energética del edificio.

### 1. SUPERFICIE, IMAGEN Y SITUACIÓN

|  |       |
|--|-------|
| Superficie habitable [m <sup>2</sup> ] | 87.69 |
|--|-------|

| Imagen del edificio   | Plano de situación   |
|---|--|
|  |  |

### 2. ENVOLVENTE TÉRMICA

#### Cerramientos opacos

| Nombre            | Tipo               | Superficie [m <sup>2</sup> ] | Transmitancia [W/m <sup>2</sup> ·K] | Modo de obtención |
|-------------------|--------------------|------------------------------|-------------------------------------|-------------------|
| Fachada norte     | Fachada            | 27.29                        | 0.33                                | Conocidas         |
| Fachada sur       | Fachada            | 22.43                        | 0.33                                | Conocidas         |
| Fachada este      | Fachada            | 27.21                        | 0.33                                | Conocidas         |
| Fachada oeste     | Fachada            | 23.61                        | 0.33                                | Conocidas         |
| Muro escalera     | Partición Interior | 29.26                        | 0.20                                | Estimadas         |
| Falsa             | Partición Interior | 90.23                        | 0.39                                | Estimadas         |
| Forjado planta 1ª | Partición Interior | 90.23                        | 0.36                                | Conocidas         |

#### Huecos y lucernarios

| Nombre | Tipo  | Superficie [m <sup>2</sup> ] | Transmitancia [W/m <sup>2</sup> ·K] | Factor solar | Modo de obtención. Transmitancia | Modo de obtención. Factor solar |
|--------|-------|------------------------------|-------------------------------------|--------------|----------------------------------|---------------------------------|
| V1.s   | Hueco | 2.03                         | 1.20                                | 0.32         | Conocido                         | Conocido                        |
| V4     | Hueco | 2.67                         | 1.20                                | 0.65         | Conocido                         | Conocido                        |
| V5     | Hueco | 3.69                         | 1.40                                | 0.50         | Conocido                         | Conocido                        |
| V6     | Hueco | 0.53                         | 1.20                                | 0.65         | Conocido                         | Conocido                        |
| V1.e   | Hueco | 4.06                         | 1.20                                | 0.65         | Conocido                         | Conocido                        |
| V2     | Hueco | 3.25                         | 1.20                                | 0.65         | Conocido                         | Conocido                        |
| V1.o   | Hueco | 4.06                         | 1.20                                | 0.65         | Conocido                         | Conocido                        |



3. INSTALACIONES TÉRMICAS

Generadores de calefacción

| Nombre           | Tipo             | Potencia nominal [kW] | Rendimiento Estacional [%] | Tipo de Energía        | Modo de obtención |
|------------------|------------------|-----------------------|----------------------------|------------------------|-------------------|
| Estufa leña      | Caldera Estándar | 10                    | 57.6                       | Biomasa no densificada | Estimado          |
| Estufa electrica | Efecto Joule     |                       | 100.0                      | Electricidad           | Estimado          |
| TOTALES          | Calefacción      |                       |                            |                        |                   |

Generadores de refrigeración

| Nombre  | Tipo          | Potencia nominal [kW] | Rendimiento Estacional [%] | Tipo de Energía | Modo de obtención |
|---------|---------------|-----------------------|----------------------------|-----------------|-------------------|
|         |               |                       |                            |                 |                   |
| TOTALES | Refrigeración |                       |                            |                 |                   |

Instalaciones de Agua Caliente Sanitaria

|  |       |
|--|-------|
| Demanda diaria de ACS a 60° (litros/día) | 112.0 |
|--|-------|

| Nombre         | Tipo             | Potencia nominal [kW] | Rendimiento Estacional [%] | Tipo de Energía | Modo de obtención |
|----------------|------------------|-----------------------|----------------------------|-----------------|-------------------|
| Calentador gas | Caldera Estándar | 5                     | 54.3                       | Gas Natural     | Estimado          |
| TOTALES        | ACS              |                       |                            |                 |                   |

## ANEXO II CALIFICACIÓN ENERGÉTICA DEL EDIFICIO

|                |    |     |             |
|----------------|----|-----|-------------|
| Zona climática | D3 | Uso | Residencial |
|----------------|----|-----|-------------|

### 1. CALIFICACIÓN ENERGÉTICA DEL EDIFICIO EN EMISIONES

| INDICADOR GLOBAL   |                   | INDICADORES PARCIALES                               |   |   |   |   |   |
|--|-------------------|---|---|---|---|---|---|
| <div><div>&lt; 12.2 A</div><div>12.2-19.9 B</div><div>19.9-30.8 C</div><div>30.8-47.3 D</div><div>47.3-83.7 E</div><div>83.7-100.4 F</div><div>≥ 100.4 G</div></div> | <div>26.7 C</div> | CALEFACCIÓN   |   | ACS   |   |   |   |
|  |                   | <div>Emisiones calefacción<br/>[kgCO2/m² año]</div> | B | <div>Emisiones ACS<br/>[kgCO2/m² año]</div>           | G |   |   |
|  |                   | 10.98   |   | 11.69   |   |   |   |
|  |                   | REFRIGERACIÓN                                       |   | ILUMINACIÓN   |   |   |   |
|  |                   | <div>Emisiones globales [kgCO2/m² año]</div>        |   | <div>Emisiones refrigeración<br/>[kgCO2/m² año]</div> | C | <div>Emisiones iluminación<br/>[kgCO2/m² año]</div> | - |
|  |                   |   |   | 4.06  |   | -   |   |

La calificación global del edificio se expresa en términos de dióxido de carbono liberado a la atmósfera como consecuencia del consumo energético del mismo.

|  | kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> año | kgCO <sub>2</sub> /año |
|--|---------------------------------------|------------------------|
| Emisiones CO <sub>2</sub> por consumo eléctrico  | 14.10                                 | 1236.02                |
| Emisiones CO <sub>2</sub> por otros combustibles | 12.64                                 | 1108.74                |

### 2. CALIFICACIÓN ENERGÉTICA DEL EDIFICIO EN CONSUMO DE ENERGÍA PRIMARIA NO RENOVABLE

Por energía primaria no renovable se entiende la energía consumida por el edificio procedente de fuentes no renovables que no ha sufrido ningún proceso de conversión o transformación.

| INDICADOR GLOBAL   |         | INDICADORES PARCIALES                              |  |  |   |
|--|---------|--|--|--|---|
| <div><div>&lt; 54.2 A</div><div>54.2-87.8 B</div><div>87.8-136.1 C</div><div>136.1-209.3 D</div><div>209.3-375.6 E</div><div>375.6-473.2 F</div><div>≥ 473.2 G</div></div> | 140.2 D | CALEFACCIÓN  |  | ACS  |   |
| <i>Energía primaria calefacción [kWh/m² año]</i>   |         | B  | <i>Energía primaria ACS [kWh/m² año]</i> | G  |   |
| 61.04  |         |  | 55.22                                    |  |   |
| REFRIGERACIÓN  |         | ILUMINACIÓN  |  |  |   |
| <i>Consumo global de energía primaria no renovable [kWh/m² año]</i>  |         | <i>Energía primaria refrigeración [kWh/m² año]</i> | D  | <i>Energía primaria iluminación [kWh/m² año]</i> | - |
|  | 23.97   | -  |  |  |   |

### 3. CALIFICACIÓN PARCIAL DE LA DEMANDA ENERGÉTICA DE CALEFACCIÓN Y REFRIGERACIÓN

La demanda energética de calefacción y refrigeración es la energía necesaria para mantener las condiciones internas de confort del edificio.

| DEMANDA DE CALEFACCIÓN   |  | DEMANDA DE REFRIGERACIÓN   |  |
|--|--|--|--|
| <div><div>&lt; 28.9 A</div><div>28.9-46.8 B</div><div>46.8-72.6 C</div><div>72.6-111.6 D</div><div>111.6-178.3 E</div><div>178.3-208.6 F</div><div>≥ 208.6 G</div></div> <div>60.6 C</div> |  | <div><div>&lt; 10.0 A</div><div>10.0-14.3 B</div><div>14.3-20.4 C</div><div>20.4-29.7 D</div><div>29.7-36.7 E</div><div>36.7-45.1 F</div><div>≥ 45.1 G</div></div> <div>24.5 D</div> |  |
| Demanda de calefacción [kWh/m² año]  |  | Demanda de refrigeración [kWh/m² año]  |  |

El indicador global es resultado de la suma de los indicadores parciales más el valor del indicador para consumos auxiliares, si los hubiera (sólo ed. terciarios, ventilación, bombeo, etc...). La energía eléctrica autoconsumida se descuenta únicamente del indicador global, no así de los valores parciales

**ANEXO IV: Certificado de eficiencia energética de la propuesta de rehabilitación energética convencional.**

# CERTIFICADO DE EFICIENCIA ENERGÉTICA DE EDIFICIOS

## IDENTIFICACIÓN DEL EDIFICIO O DE LA PARTE QUE SE CERTIFICA:

|   |                         |                    |        |
|---|-------------------------|--------------------|--------|
| Nombre del edificio                               | Vivienda Maleján        |                    |        |
| Dirección   | C/ Mayor 5              |                    |        |
| Municipio   | Maleján                 | Código Postal      | 50549  |
| Provincia   | Zaragoza                | Comunidad Autónoma | Aragón |
| Zona climática                                    | D3                      | Año construcción   | 1955   |
| Normativa vigente (construcción / rehabilitación) | Anterior a la NBE-CT-79 |                    |        |
| Referencia/s catastral/es                         | 0519103XM2301H0001ET    |                    |        |

## Tipo de edificio o parte del edificio que se certifica:

|  |   |
|--|---|
| <input type="radio"/> Edificio de nueva construcción   | <input checked="" type="radio"/> Edificio Existente   |
| <input checked="" type="radio"/> Vivienda <ul style="list-style-type: none"><li><input checked="" type="radio"/> Unifamiliar</li><li><input type="radio"/> Bloque<ul style="list-style-type: none"><li><input type="radio"/> Bloque completo</li><li><input type="radio"/> Vivienda individual</li></ul></li></ul> | <input type="radio"/> Terciario <ul style="list-style-type: none"><li><input type="radio"/> Edificio completo</li><li><input type="radio"/> Local</li></ul> |

## DATOS DEL TÉCNICO CERTIFICADOR:

|  |                       |                    |        |
|--|-----------------------|--------------------|--------|
| Nombre y Apellidos   | Elena Tabuenca Azcona | NIF(NIE)           |        |
| Razón social   | Elena Tabuenca Azcona | NIF                |        |
| Domicilio  |                       |                    |        |
| Municipio  | Zaragoza              | Código Postal      | 50014  |
| Provincia  | Zaragoza              | Comunidad Autónoma | Aragón |
| e-mail:  |                       | Teléfono           |        |
| Titulación habilitante según normativa vigente                           | Arquitecto            |                    |        |
| Procedimiento reconocido de calificación energética utilizado y versión: | CEXv2.3               |                    |        |

## CALIFICACIÓN ENERGÉTICA OBTENIDA:

| CONSUMO DE ENERGÍA PRIMARIA NO RENOVABLE<br>[kWh/m² año]  | EMISIONES DE DIÓXIDO DE CARBONO<br>[kgCO2/ m² año]   |
|---|--|
| <div><div>&lt; 54.2 A</div><div>54.2-87.8 B</div><div>87.8-136.1 C</div><div>136.1-209.3 D</div><div>209.3-375.6 E</div><div>375.6-473.2 F</div><div>≥ 473.2 G</div></div> <div>141.4 D</div> | <div><div>&lt; 12.2 A</div><div>12.2-19.9 B</div><div>19.9-30.8 C</div><div>30.8-47.3 D</div><div>47.3-83.7 E</div><div>83.7-100.4 F</div><div>≥ 100.4 G</div></div> <div>26.9 C</div> |

El técnico abajo firmante declara responsablemente que ha realizado la certificación energética del edificio o de la parte que se certifica de acuerdo con el procedimiento establecido por la normativa vigente y que son ciertos los datos que figuran en el presente documento, y sus anexos:

Fecha: 19/02/2024

Firma del técnico certificador

**Anexo I.** Descripción de las características energéticas del edificio.

**Anexo II.** Calificación energética del edificio.

**Anexo III.** Recomendaciones para la mejora de la eficiencia energética.

**Anexo IV.** Pruebas, comprobaciones e inspecciones realizadas por el técnico certificador.

Registro del Órgano Territorial Competente:

# ANEXO I

## DESCRIPCIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS ENERGÉTICAS DEL EDIFICIO

En este apartado se describen las características energéticas del edificio, envolvente térmica, instalaciones, condiciones de funcionamiento y ocupación y demás datos utilizados para obtener la calificación energética del edificio.

### 1. SUPERFICIE, IMAGEN Y SITUACIÓN

|  |       |
|--|-------|
| Superficie habitable [m <sup>2</sup> ] | 87.69 |
|--|-------|

| Imagen del edificio   | Plano de situación   |
|---|--|
|  |  |

### 2. ENVOLVENTE TÉRMICA

#### Cerramientos opacos

| Nombre            | Tipo               | Superficie [m <sup>2</sup> ] | Transmitancia [W/m <sup>2</sup> ·K] | Modo de obtención |
|-------------------|--------------------|------------------------------|-------------------------------------|-------------------|
| Fachada norte     | Fachada            | 27.29                        | 0.38                                | Conocidas         |
| Fachada sur       | Fachada            | 22.43                        | 0.38                                | Conocidas         |
| Fachada este      | Fachada            | 27.21                        | 0.38                                | Conocidas         |
| Fachada oeste     | Fachada            | 23.61                        | 0.38                                | Conocidas         |
| Muro escalera     | Partición Interior | 29.26                        | 0.23                                | Estimadas         |
| Falsa             | Partición Interior | 90.23                        | 0.32                                | Estimadas         |
| Forjado planta 1ª | Partición Interior | 90.23                        | 0.37                                | Conocidas         |

#### Huecos y lucernarios

| Nombre | Tipo  | Superficie [m <sup>2</sup> ] | Transmitancia [W/m <sup>2</sup> ·K] | Factor solar | Modo de obtención. Transmitancia | Modo de obtención. Factor solar |
|--------|-------|------------------------------|-------------------------------------|--------------|----------------------------------|---------------------------------|
| V1.s   | Hueco | 2.03                         | 1.36                                | 0.66         | Conocido                         | Conocido                        |
| V4     | Hueco | 2.67                         | 1.36                                | 0.66         | Conocido                         | Conocido                        |
| V5     | Hueco | 3.69                         | 1.72                                | 0.51         | Conocido                         | Conocido                        |
| V6     | Hueco | 0.53                         | 1.36                                | 0.66         | Conocido                         | Conocido                        |
| V1.e   | Hueco | 4.06                         | 1.36                                | 0.66         | Conocido                         | Conocido                        |
| V2     | Hueco | 3.25                         | 1.36                                | 0.66         | Conocido                         | Conocido                        |
| V1.o   | Hueco | 4.06                         | 1.36                                | 0.66         | Conocido                         | Conocido                        |

3. INSTALACIONES TÉRMICAS

Generadores de calefacción

| Nombre           | Tipo             | Potencia nominal [kW] | Rendimiento Estacional [%] | Tipo de Energía        | Modo de obtención |
|------------------|------------------|-----------------------|----------------------------|------------------------|-------------------|
| Estufa leña      | Caldera Estándar | 10                    | 57.6                       | Biomasa no densificada | Estimado          |
| Estufa electrica | Efecto Joule     |                       | 100.0                      | Electricidad           | Estimado          |
| TOTALES          | Calefacción      |                       |                            |                        |                   |

Generadores de refrigeración

| Nombre  | Tipo          | Potencia nominal [kW] | Rendimiento Estacional [%] | Tipo de Energía | Modo de obtención |
|---------|---------------|-----------------------|----------------------------|-----------------|-------------------|
|         |               |                       |                            |                 |                   |
| TOTALES | Refrigeración |                       |                            |                 |                   |

Instalaciones de Agua Caliente Sanitaria

|  |       |
|--|-------|
| Demanda diaria de ACS a 60° (litros/día) | 112.0 |
|--|-------|

| Nombre         | Tipo             | Potencia nominal [kW] | Rendimiento Estacional [%] | Tipo de Energía | Modo de obtención |
|----------------|------------------|-----------------------|----------------------------|-----------------|-------------------|
| Calentador gas | Caldera Estándar | 5                     | 54.3                       | Gas Natural     | Estimado          |
| TOTALES        | ACS              |                       |                            |                 |                   |



## ANEXO II CALIFICACIÓN ENERGÉTICA DEL EDIFICIO

|                |    |     |             |
|----------------|----|-----|-------------|
| Zona climática | D3 | Uso | Residencial |
|----------------|----|-----|-------------|

### 1. CALIFICACIÓN ENERGÉTICA DEL EDIFICIO EN EMISIONES

| INDICADOR GLOBAL   |                   | INDICADORES PARCIALES                           |   |   |   |   |   |
|--|-------------------|---|---|---|---|---|---|
| <div><div>&lt; 12.2 A</div><div>12.2-19.9 B</div><div>19.9-30.8 C</div><div>30.8-47.3 D</div><div>47.3-83.7 E</div><div>83.7-100.4 F</div><div>≥ 100.4 G</div></div> | <div>26.9 C</div> | CALEFACCIÓN                                     |   | ACS   |   |   |   |
|  |                   | <div>Emisiones calefacción [kgCO2/m² año]</div> | B | <div>Emisiones ACS [kgCO2/m² año]</div>           | G |   |   |
|  |                   | 10.79   |   | 11.69   |   |   |   |
|  |                   | REFRIGERACIÓN                                   |   | ILUMINACIÓN                                       |   |   |   |
|  |                   | <div>Emisiones globales [kgCO2/m² año]</div>    |   | <div>Emisiones refrigeración [kgCO2/m² año]</div> | C | <div>Emisiones iluminación [kgCO2/m² año]</div> | - |
|  |                   |   |   | 4.44  |   | -   |   |

La calificación global del edificio se expresa en términos de dióxido de carbono liberado a la atmósfera como consecuencia del consumo energético del mismo.

|  | kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> año | kgCO <sub>2</sub> /año |
|--|---------------------------------------|------------------------|
| Emisiones CO <sub>2</sub> por consumo eléctrico  | 14.30                                 | 1254.22                |
| Emisiones CO <sub>2</sub> por otros combustibles | 12.63                                 | 1107.31                |

### 2. CALIFICACIÓN ENERGÉTICA DEL EDIFICIO EN CONSUMO DE ENERGÍA PRIMARIA NO RENOVABLE

Por energía primaria no renovable se entiende la energía consumida por el edificio procedente de fuentes no renovables que no ha sufrido ningún proceso de conversión o transformación.

| INDICADOR GLOBAL   |         | INDICADORES PARCIALES                       |               |   |             |
|--|---------|---|---------------|---|-------------|
| <div><div>&lt; 54.2 A</div><div>54.2-87.8 B</div><div>87.8-136.1 C</div><div>136.1-209.3 D</div><div>209.3-375.6 E</div><div>375.6-473.2 F</div><div>≥ 473.2 G</div></div> |         | CALEFACCIÓN                                 |               | ACS                                       |             |
|  | 141.4 D | Energía primaria calefacción [kWh/m² año]   | B             | Energía primaria ACS [kWh/m² año]         | G           |
|  |         | 59.98                                       |               | 55.22                                     |             |
|  |         |   | REFRIGERACIÓN |   | ILUMINACIÓN |
| Consumo global de energía primaria no renovable [kWh/m² año]   |         | Energía primaria refrigeración [kWh/m² año] | D             | Energía primaria iluminación [kWh/m² año] | -           |
|  |         | 26.22                                       |               | -   |             |

### 3. CALIFICACIÓN PARCIAL DE LA DEMANDA ENERGÉTICA DE CALEFACCIÓN Y REFRIGERACIÓN

La demanda energética de calefacción y refrigeración es la energía necesaria para mantener las condiciones internas de confort del edificio.

| DEMANDA DE CALEFACCIÓN   |  | DEMANDA DE REFRIGERACIÓN   |  |
|--|--|--|--|
| <div><div>&lt; 28.9 A</div><div>28.9-46.8 B</div><div>46.8-72.6 C</div><div>72.6-111.6 D</div><div>111.6-178.3 E</div><div>178.3-208.6 F</div><div>≥ 208.6 G</div></div> <div>59.6 C</div> |  | <div><div>&lt; 10.0 A</div><div>10.0-14.3 B</div><div>14.3-20.4 C</div><div>20.4-29.7 D</div><div>29.7-36.7 E</div><div>36.7-45.1 F</div><div>≥ 45.1 G</div></div> <div>26.8 D</div> |  |
| Demanda de calefacción [kWh/m² año]  |  | Demanda de refrigeración [kWh/m² año]  |  |

El indicador global es resultado de la suma de los indicadores parciales más el valor del indicador para consumos auxiliares, si los hubiera (sólo ed. terciarios, ventilación, bombeo, etc...). La energía eléctrica autoconsumida se descuenta únicamente del indicador global, no así de los valores parciales

## **ANEXO V: Declaraciones ambientales de productos.**

## Environmental Product Declaration

In accordance with EN 15804 and ISO 14025

|                       |   |
|-----------------------|---|
| <b>Product name:</b>  | Loose fill cellulose insulation <ul style="list-style-type: none"><li>• Open blowing for attics,</li><li>• Blown into pitched roofs,</li><li>• Blown into walls,</li><li>• Sprayed application (with glue).</li></ul> |
| <b>Date of Issue:</b> | January 2018  |
| <b>Validity:</b>      | 5 years   |
| <b>Product unit:</b>  | Kg or m <sup>2</sup> depending on the product   |
| <b>Verification</b>   | Independent verification by external third-party verifier: <b>Dr. Frank Werner</b>  |

### Scope of the declaration

This EPD is a core EPD for the European market. Covering the environmental impacts of the loose fill cellulose insulation products over the complete lifecycle from 'Cradle to grave' The LCA is carried out by **Agrodome, [avniR] by cd2e** and **WeLOOP**, based on the process and production data provided by 14 participating cellulose insulation producing companies, all members of the European Cellulose Insulation Association (ECIA).

### Product Description

The loose fill cellulose insulation products are made from recycled newspaper with additives of inorganic flame retardant minerals. This insulation material is used for thermal and acoustical insulation of buildings. It is used to insulate walls, roofs, attics and mezzanine floors.



**European Cellulose Insulation Association (ECIA)**

Dreve du Pressoir 38  
1190 Forest Brussels, Belgium  
[www.ecia.eu.com](http://www.ecia.eu.com)



## General information

This EPD gives information about these applications for loose fill cellulose insulation:

- Open blowing, attics;
- Roof applications (pitched roofs);
- Wall applications;
- Sprayed applications (with glue).

Loose fill cellulose insulation products are made from recycled newspaper (up to 95%) and inorganic flame retardant minerals. It is an insulation material that is mainly applied as loose fill cellulose insulation, but is sometimes converted into mats and in some cases applied in a wet spraying process (water or glue). It is used for thermal and acoustical insulation of buildings.

Loose fill cellulose insulation products may be reused or recycled at the end-of-life, the products can be easily recovered by the reverse process of the installation. Several of products among the cellulose insulation products participating in this EPD are labeled Nature Plus. Several producers have also a FSC 'Chain of Custody' Certificate.



*Figure 1: Loose fill cellulose insulation material*

## Goal and scope

The goal of this study is to gather data regarding the environmental effects during the lifespan of loose fill cellulose insulation products to get a better understanding of the environmental impact over the complete lifecycle. The results can be used to eco-design the product.

Furthermore, the results can be used to inform potential customers about the environmental impact of loose fill cellulose insulation products in all European countries.

## Reference service life

The information on the lifespan of loose fill cellulose insulation products is provided by ECIA. If installed correctly according to the manufacturers guidelines, loose fill cellulose insulation products need no further maintenance, repair, replacement or refurbishment during the full life span of the product. If the product is applied and maintained following the installation and maintenance instructions the life span of 50 years is applicable based on CEN-TC88 requirements.

## Geographical scope

The cellulose insulation material that is assessed in the LCA-study is coming from 13 production sites in Europe (Austria (2), Belgium, Czech Republic, Germany (3), Finland (2), France, Spain, Sweden and Switzerland) and one production site in the USA.

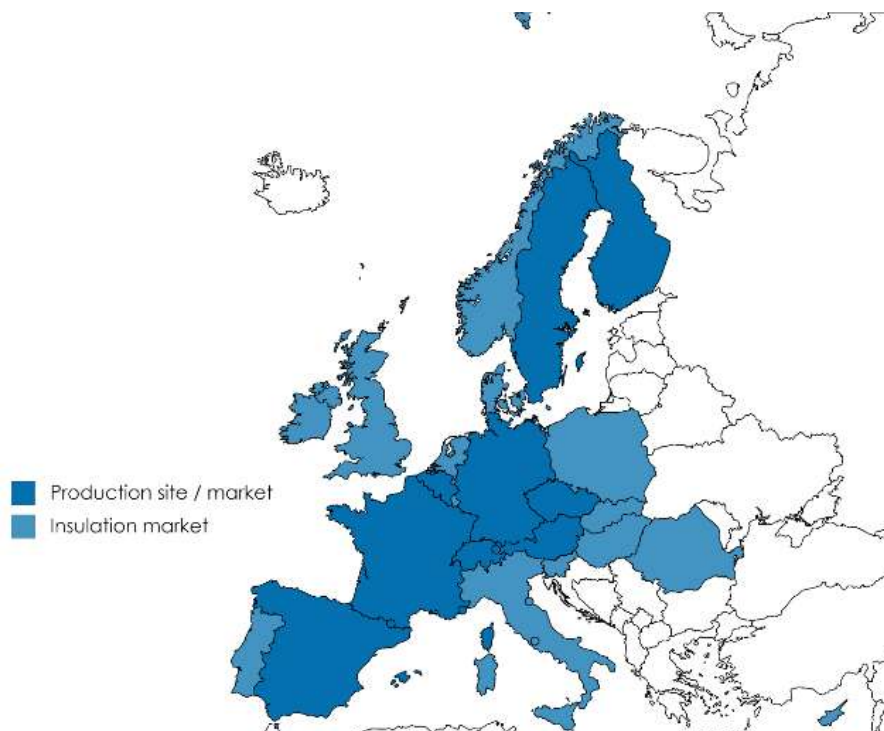


Figure 2: European production sites and markets covered by this EPD

### Participating companies

- AislaNat, S.L., Spain,
- Cellulose dämmstoffproduktion Hartberg, Isocell Austria,
- Scandinavian Cellulose Production AB, Isocell Sweden,
- CIUR a.s., Czech Republic,
- CWA Cellulosewerk Angelbachtal GmbH, Germany,
- Ekovilla Oy, Finland,
- Igloo France Cellulose SAS, France,
- International Cellulose Corporation, USA,
- isofloc AG, Isofloc Switzerland,
- isofloc Wärmedämmtechnik GmbH, Germany (Lohfelden),
- isofloc Dämmstatt GmbH, Isofloc Germany (Berlin),
- ISOPROC, Belgium,
- Termex-Eriste Oy, Finland,
- WOLFINGER GmbH, Austria.

## Representativeness production process

This product is made following the production protocols of the companies and their national standards. The total output of the fourteen studied production sites is representative for main part of cellulose insulation material sold in Europe.



## Information on products/applications

### Declared Unit

The declared unit is 1 kg of cellulose loose fill insulation. The average density<sup>1</sup> in case of the calculation of 1m<sup>3</sup> is 45 kg/m<sup>3</sup>. The declared unit is used instead of the functional unit when the precise function of the product is not defined or not covered among the functional units included in this report.

### Functional Units

#### Functional unit for the open blowing attics application

Cellulose insulation is installed in open attics using a dry blowing process without any glue or water as shown in figure 3. The functional unit in open attics is defined as:

*"The thermal insulation of 1m<sup>2</sup> open attic, with a cellulose loose fill insulation, density of 31.5 kg/m<sup>3</sup> with a thickness of 273 mm that gives an overall thermal resistance, R-value, of 7 m<sup>2</sup>·K/W, with a design life span of 50 years".*



Figure 3: Cellulose insulation in open attics

| Product description                | Average | Units             |
|------------------------------------|---------|-------------------|
| Lowest density                     | 23      | kg/m <sup>3</sup> |
| Highest density                    | 40      | kg/m <sup>3</sup> |
| Average gross density <sup>1</sup> | 31.5    | kg/m <sup>3</sup> |
| Lambda value (λ)                   | 0.039   | W/(m·K)           |

#### Functional unit for the pitched roof application

The cellulose insulation is installed in a pitched roof by blowing dry cellulose into the roof cavity (compartment) without adding any glue or water as shown in figure 4a, underside and 4b, top side. The functional unit of the pitched roof application is defined as:

*"The thermal insulation of 1m<sup>2</sup> pitched roof applications, with a cellulose loose fill insulation, density of 47 kg/m<sup>3</sup> with a thickness of 273 mm that gives an overall thermal resistance, R-value, of 7 m<sup>2</sup>·K/W, with a design life span of 50 years".*



Figure 4: Cellulose insulation in a pitched roof (a: left side and b: right side)

<sup>1</sup> Average density is obtained based on weighted average (based on sale volumes) of the declared density provided by the participating companies.



| Product description                | Average | Units             |
|------------------------------------|---------|-------------------|
| Lowest density                     | 40      | kg/m <sup>3</sup> |
| Highest density                    | 60      | kg/m <sup>3</sup> |
| Average gross density <sup>5</sup> | 47      | kg/m <sup>3</sup> |
| Lambda value ( $\lambda$ )         | 0.039   | W/(m·K)           |

#### Functional unit for the wall applications

The cellulose insulation is installed in walls by blowing dry cellulose into the closed wall cavity (compartment) as shown in figure 5. The functional unit of the wall applications is defined as:

*"The thermal insulation of 1m<sup>2</sup> wall applications, with a cellulose loose fill insulation, density of 50 kg/m<sup>3</sup> with a thickness of 136,5 mm that gives an overall thermal resistance, R-value, of 3.5 m<sup>2</sup>·K/W, with a design life span of 50 years".*

Figure 5: Cellulose insulation in walls



| Product description                | Average | Units             |
|------------------------------------|---------|-------------------|
| Lowest density                     | 40      | kg/m <sup>3</sup> |
| Highest density                    | 65      | kg/m <sup>3</sup> |
| Average gross density <sup>2</sup> | 50      | kg/m <sup>3</sup> |
| Lambda value ( $\lambda$ )         | 0.039   | W/(m·K)           |

#### Functional unit for the sprayed application

The Loose fill cellulose insulation is installed in sprayed application using glue and water as shown in figure 6. The functional unit in the sprayed application is defined as:

*"The thermal insulation of 1m<sup>2</sup> sprayed applications, with a sprayed adhered density cellulose insulation, density of 55 kg/m<sup>3</sup> with a thickness of 136,5 mm that gives an overall thermal resistance, R-value, of 3.5 m<sup>2</sup>·K/W, with a design life span of 50 years".*



Figure 6: Cellulose insulation in sprayed application (left side the installation process – right side the installed product)

<sup>2</sup> Average density is obtained based on weighted average (based on sale volumes) of the declared density provided by the participating companies.

| Product description                | AVERAGE | Units             |
|------------------------------------|---------|-------------------|
| Lowest density                     | 30      | kg/m <sup>3</sup> |
| Highest density                    | 80      | kg/m <sup>3</sup> |
| Average gross density <sup>7</sup> | 55      | kg/m <sup>3</sup> |
| Lambda value ( $\lambda$ )         | 0.039   | W/(m·K)           |

### Data quality

The data about the process and products are based upon frequent contact with the production sites to guarantee that this EPD dated 2017 is based on the most up-to-date production data. No adaptations of the data was found necessary. Missing data was collected from Eco-invent version 3.2.

### Variability of results

The average results were compared to individual company results for the 3 indicators: global warming potential, use of non-renewable as energy and non-hazardous waste over module A1 to A3. Based on the assessment, the individual results for each participating company for the 3 mentioned indicators show a moderate variation.

### Qualitative information

Loose fill cellulose insulation products from the members of ECIA are made according to the production protocols of the companies and their national standards.

### Sourcing raw materials

The companies are working with a limited number of suppliers for the main input material, the old or wasted newspaper. The various other ingredients are sourced from several suppliers which are therefore based on generic LCA data from the Ecoinvent 3.2 database.

### Comparability

A comparison or evaluation of EPD data is only possible if all datasets are made following EN 15804 applying the same relevant product category rules and for the same modules.

## Methodological considerations

The European norm EN 15804 is based on four main modules corresponding with the various phases in the lifecycle of a building product: Module A1-A5 (production and construction stages), Module B1-B7 (use stages), Module C1-C4 (End of life stages) and Module D (Environmental effects outside of the system boundary). See figure 7.

The system boundaries of EN 15804 stop at the end of the disposal stage (module C4), which is defined as the end of the building life cycle. All processes (and related benefits and loads) beyond the building life cycle (i.e. system boundary) may however be reported as additional environmental information within the Module D. Module C includes demolition, waste processing and disposal, and all related transport processes. Module D includes reuse, energy recovery and recycling potential.

## System boundary

This Core- EPD is made for "Cradle to Grave" (including modules A1-A5, B1-7, C1-4 and D)

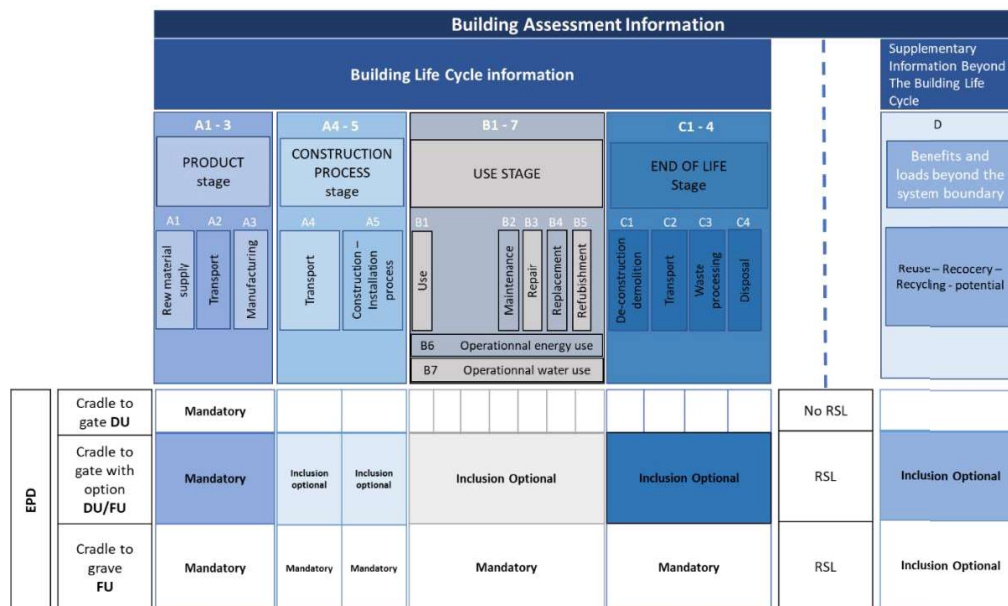


Figure 7: Modules over the life cycle of a building material as determined in EN 15804.

## Scenario information

### Cradle to gate flow chart

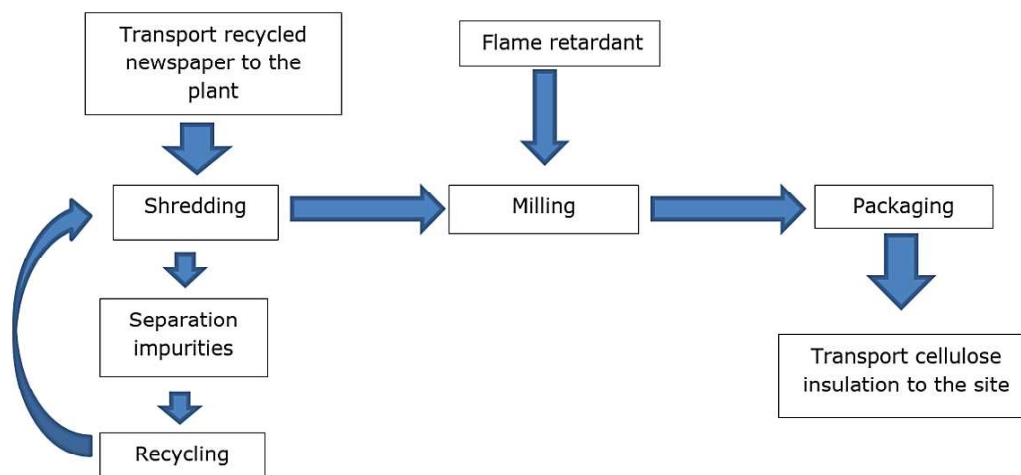


Figure 8: Flowchart illustrating the production process of cellulose insulation material.

### Product stage (A1-3)

The recycled newspaper is transported to the cellulose insulation production plant. The impurities are separated, and the paper is shredded. Paper which still contains tiny amounts of impurities is recycled into the process. When milling the shredded paper, fire retardants are added. The final product is packed and transported to the construction site.

## Construction stage (A4-5)

### Transport to building site (A4)

The final product is packed and transported to the construction site. Wherever the case, as the insulation product has a low density, the transport is volume based. A compression factor of the material during transportation is considered when applicable. There is a broad variety in distances and transportation vehicles used by the producers, for the calculations we used an arithmetic average based upon market share this has been checked by the verifier. **The average distance of transport from production to building site is equal to 380 km** based on average market share for loose fill cellulose insulation.

### Installation of the product in the building (A5)

The loose fill cellulose insulation is applied into the construction by a machine. Therefore, the energy consumption of the blowing or spraying machine is considered.

For wall and roof applications, no water or glue is added. This is the same for the open attic application, only in a few cases a tiny amount of water may be added on top in an attic to avoid displacement by air movement (ventilated attic). For the sprayed application water and glue is added.

## Use stage (B1-7)

If installed correctly according to the manufacturers and suppliers guidelines, loose fill cellulose insulation products need no further maintenance, repair, replacement or refurbishment during the full life span of the product. If the product is applied following the installation instructions the life span of 50 years is applicable.

## End of life stage (C1-4)

### Demolition (C1)

The dismantling is very easy: the cellulose material may be sucked with a hose to the truck at the road and may be reused or recycled if appropriate. This process is a fast reverse process of installing. Although cellulose is easily reclaimed to be recyclable and reusable, a deconstruction-demolition scenario is considered as a current practice in Europe.

### Transport (C2)

Assumptions transport phase: 50 km to sorting installation and 100 km from sorting location to final waste processing. Transport with a Euro 0,1.2.3.4 (European average); 22 t total weight lorry, 17,3t max payload

### Waste processing (C3-C4)

Although cellulose is easily recyclable and reusable, these scenarios are not yet mainstreamed in Europe. As waste scenario after demolition, incineration with energy recovery and landfilling was assumed. Market share in different EU countries and different scenarios per country have been used.

## Benefits and loads beyond the system boundary (D)

The avoided energy use as a result from the incineration of the loose fill cellulose insulation products are considered as benefits beyond the system boundary.

## Life Cycle Assessment Results for loose fill cellulose insulation products

### Environmental impacts for loose fill cellulose insulation products

The results of the LCIA are calculated by merging the results at product level using the market shares. **The results are provided for 1kg of average insulation product. The average installed density<sup>3</sup> for the assessed product is 45 kg/m<sup>3</sup>.**

| Impact categories   |                | A1        | A2        | A3       | A4        | A5        | B1-7     | C1       | C2        | C3       | C4       | D         |
|---|----------------|-----------|-----------|----------|-----------|-----------|----------|----------|-----------|----------|----------|-----------|
| PARAMETERS DESCRIBING ENVIRONMENTAL IMPACTS                 |                |           |           |          |           |           |          |          |           |          |          |           |
| EN 15804 Abiotic depletion elements                         | kg Sb eq       | 9,58E-09  | 1,66E-09  | 1,00E-08 | 4,91E-09  | 1,19E-10  | 0,00E+00 | 7,87E-12 | 9,99E-10  | 0,00E+00 | 5,61E-09 | -1,66E-08 |
| EN 15804 Abiotic depletion – fossil fuels                   | MJ             | 1,20E+00  | 2,96E-01  | 1,14E+00 | 8,23E-01  | 1,88E-02  | 0,00E+00 | 5,89E-02 | 1,66E-01  | 0,00E+00 | 1,37E-01 | -3,80E+00 |
| EN 15804 Acidification for soil / water                     | kg SO2 eq      | 7,58E-04  | 1,24E-04  | 1,93E-04 | 2,79E-04  | 2,01E-05  | 0,00E+00 | 2,94E-05 | 5,60E-05  | 0,00E+00 | 1,39E-04 | -9,04E-04 |
| EN 15804 Ozone depletion                                    | kg CFC-11 eq   | 1,27E-08  | 2,73E-10  | 6,77E-09 | 1,78E-10  | -1,17E-10 | 0,00E+00 | 7,18E-10 | 2,40E-11  | 0,00E+00 | 2,33E-09 | -3,13E-08 |
| GWP Climate change excluding biogenic                       | kg CO2 eq      | 7,16E-02  | 2,10E-02  | 6,49E-02 | 5,86E-02  | 1,82E-02  | 0,00E+00 | 3,76E-03 | 1,18E-02  | 0,00E+00 | 2,23E-01 | -2,71E-01 |
| GWP C-content   | kg CO2 eq      | -1,37E+00 | 0,00E+00  | 0,00E+00 | 0,00E+00  | 0,00E+00  | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00  | 0,00E+00 | 1,09E+00 | 0,00E+00  |
| EN 15804 Global Warming                                     | kg CO2 eq      | -1,30E+00 | 2,10E-02  | 6,49E-02 | 5,86E-02  | 1,82E-02  | 0,00E+00 | 3,76E-03 | 1,18E-02  | 0,00E+00 | 1,32E+00 | -2,71E-01 |
| EN 15804 Eutrophication                                     | kg PO4--- eq   | 7,98E-05  | 2,41E-05  | 2,96E-05 | 6,29E-05  | 9,13E-06  | 0,00E+00 | 6,38E-06 | 1,29E-05  | 0,00E+00 | 1,68E-04 | -1,03E-04 |
| EN 15804 Photochemical ozone creation                       | kg C2H4 eq     | 2,90E-05  | 7,63E-06  | 1,17E-05 | 1,97E-05  | 3,48E-06  | 0,00E+00 | 7,05E-07 | 4,03E-06  | 0,00E+00 | 6,23E-05 | -4,46E-05 |
| PARAMETERS DESCRIBING RESOURCE USE                          |                |           |           |          |           |           |          |          |           |          |          |           |
| Use of renewable primary energy as energy                   | MJ             | 6,82E-02  | 4,05E-04  | 6,81E-01 | 1,11E-03  | 3,87E-03  | 0,00E+00 | 1,01E-04 | 2,23E-04  | 0,00E+00 | 3,33E-02 | -6,31E-01 |
| Use of renewable primary energy as raw material             | MJ             | 0,00E+00  | 0,00E+00  | 8,17E-03 | 0,00E+00  | -8,17E-03 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00  | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00  |
| Total use of renewable primary energy resources             | MJ             | 6,82E-02  | 4,05E-04  | 6,89E-01 | 1,11E-03  | -4,30E-03 | 0,00E+00 | 1,01E-04 | 2,23E-04  | 0,00E+00 | 3,33E-02 | -6,31E-01 |
| Use of non renewable primary energy as energy               | MJ             | 1,36E+00  | 2,96E-01  | 1,71E+00 | 8,23E-01  | 3,24E-02  | 0,00E+00 | 5,91E-02 | 1,66E-01  | 0,00E+00 | 2,35E-01 | -5,31E+00 |
| Use of non renewable primary energy as raw material         | MJ             | 0,00E+00  | 0,00E+00  | 3,74E-01 | 0,00E+00  | -3,74E-01 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00  | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00  |
| Total use of non-renewable primary energy resources         | MJ             | 1,36E+00  | 2,96E-01  | 2,08E+00 | 8,23E-01  | -3,42E-01 | 0,00E+00 | 5,91E-02 | 1,66E-01  | 0,00E+00 | 2,35E-01 | -5,31E+00 |
| Use of secondary material                                   | kg             | 9,00E-01  | 0,00E+00  | 0,00E+00 | 0,00E+00  | 0,00E+00  | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00  | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 3,20E-03  |
| Use of renewable secondary fuel                             | MJ, net cal    | 1,19E+00  | 0,00E+00  | 0,00E+00 | 0,00E+00  | 0,00E+00  | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00  | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00  |
| Use of non renewable secondary fuel                         | MJ, net cal    | 0,00E+00  | 0,00E+00  | 0,00E+00 | 0,00E+00  | 0,00E+00  | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00  | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00  |
| Net use of fresh water                                      | m <sup>3</sup> | 2,38E-05  | -2,50E-06 | 7,13E-06 | -8,28E-06 | 1,00E+00  | 0,00E+00 | 1,01E-06 | -1,70E-06 | 0,00E+00 | 1,37E-06 | -1,78E-05 |
| OTHER ENVIRONMENTAL INFORMATION DESCRIBING WASTE CATEGORIES |                |           |           |          |           |           |          |          |           |          |          |           |
| Hazardous waste disposed                                    | kg             | 6,54E-07  | 3,38E-09  | 1,00E-06 | 8,68E-10  | -5,13E-08 | 0,00E+00 | 9,76E-09 | 0,00E+00  | 0,00E+00 | 5,35E-07 | -4,77E-06 |
| Non-hazardous waste disposed                                | kg             | 2,62E-07  | 2,99E-08  | 7,05E-08 | 7,37E-08  | 2,73E-05  | 0,00E+00 | 7,35E-09 | 1,47E-08  | 0,00E+00 | 2,04E-06 | -3,25E-06 |

<sup>3</sup> Average density is obtained based on weighted average (based on sale volume) of the declared density provided by the participating companies.



# FICHE DE DECLARATION ENVIRONNEMENTALE ET SANITAIRE DU PRODUIT

## GEOPANNEL® PYL 2.0 40 mm & GEOPANNEL® PYL 2.0 ALUMINIO 40 mm

Compliant with ISO 1405, NF EN 15804+A1 and its national complement NF EN 15804/CN



Declaration holder: GEOPANNEL®

Registration number: 1-47:2021

Publication date: 2021/02/08

Valid until: 2026/02/08





## Contents

|   |    |
|---|----|
| 1. GENERAL INFORMATION.....   | 4  |
| 1.1 Warning.....  | 5  |
| 1.2 Reading guide.....  | 5  |
| 1.3 Warning when using EPDs for product comparison.....   | 5  |
| 2. COMPANY INFORMATION.....   | 5  |
| 3. DESCRIPTION OF THE FUNCTIONAL UNIT OF THE PRODUCT .....  | 6  |
| 3.1 Functional unit .....   | 6  |
| 3.2 Limits of the system .....  | 6  |
| 3.3 Description and use of the product.....   | 7  |
| 3.4 Technical data and physical characteristics.....  | 8  |
| 3.5 Description of the main compounds and / or materials.....   | 8  |
| 3.6 Description of the Reference Service Life .....   | 9  |
| 4 LIFE CYCLE STAGES.....  | 10 |
| 4.1 System boundaries .....   | 10 |
| 5. INFORMATION FOR THE CALCULATION OF THE LIFE CYCLE ANALYSIS .....   | 15 |
| 5.1. PCR used.....  | 15 |
| 5.2. System boundaries .....  | 15 |
| 5.3. Geographical and temporal representativeness of the data .....   | 15 |
| 5.4. Secondary data .....   | 15 |
| 5.5. Allocation .....   | 15 |
| 5.6. Cut-off rules .....  | 15 |
| 5.7. Impact assessment methods .....  | 15 |
| 5.8. Variability of results .....   | 15 |
| 6. LIFE CYCLE ASSESSMENT RESULTS FOR 40 mm THICKNESS.....   | 16 |
| 7. INTERPRETATION OF RESULTS.....   | 21 |
| 8. ADDITIONAL INFORMATION ON THE RELEASE OF HAZARDOUS SUBSTANCES TO INDOOR AIR, SOIL AND WATER DURING THE USE STAGE ..... | 22 |
| 8.1 Emissions to air .....  | 22 |
| 8.2 Emissions to soil and water .....   | 22 |
| 9. CONTRIBUTION OF THE PRODUCT TO THE INDOOR AIR QUALITY .....  | 22 |
| 10. REFERENCES.....   | 23 |
| ANNEX 1: RESULTS FOR THE PRODUCT WITH DESTINATION SPAIN (40 mm thickness).....  | 24 |
| ANNEX 2: INFLUENCE OF THICKNESS.....  | 29 |



## 1. GENERAL INFORMATION

Table 1 General information

|                                 |   |   |
|---------------------------------|---|---|
| MANUFACTURER'S NAME AND ADDRESS | GEOPANNEL<br>C / LAS CAÑAS 101<br>P.I. CANTABRIA II<br>26009 LOGROÑO (LA RIOJA)<br>SPAIN<br>Tel: +34 941 255 321,<br>Email: <a href="mailto:info@geopannel.com">info@geopannel.com</a>  |    |
| PRODUCTION SITE                 | C / LAS CAÑAS 101<br>P.I. CANTABRIA II<br>26009 LOGROÑO (LA RIOJA), SPAIN   |   |
| TYPE OF DEP                     | From the cradle to the grave. Individual.   |   |
| DISTRIBUTION CHANNEL            | B to B & B to C   |   |
| VERIFICATION PROGRAM            | Programme FDES-INIES<br>Address: Association HQE. 4 Avenue du Recteur Poincaré<br>750116 Paris<br>Web: <a href="http://www.inies.fr/acceuil/">http://www.inies.fr/acceuil/</a>  |   |
| PRODUCT CATEGORY RULES (PCR)    | NF EN 15804+A1 and its national complement N F EN 15804/CN  |   |
| TYPE OF VERIFICATION            | EN 15804 standard serves as a core PCR. with ISO 14025 and EN 15804 as well<br>Independent third-party verification in accordance as the specific PCRs mentioned above.<br><br><input type="checkbox"/> Internal <input checked="" type="checkbox"/> External |   |
| THIRD-PARTY VERIFIER            | Sylvain Cléder,<br>Evea Conseil<br>Email : <a href="mailto:s.cleder@evea-conseil.com">s.cleder@evea-conseil.com</a><br>Web: <a href="http://www.evea-conseil.com">www.evea-conseil.com</a>  |  |
| TECHNICAL SUPPORT               | Marcel Gómez Consultoría Ambiental<br><a href="http://www.marcelgomez.com">www.marcelgomez.com</a> Email:<br><a href="mailto:info@marcelgomez.com">info@marcelgomez.com</a>   |  |
| PREVIOUS VERSIONS               | 1ST VERSION OF THE FDES   |   |
| INCLUDED COMMERCIAL REFERENCES  | GEOPANNEL® PYL 2.0 & GEOPANNEL® PYL 2.0 ALUMINIO  |   |
| THICKNESS INCLUDED IN THIS FDES | 40 mm   |   |

## 1.1 Warning

The information contained in this declaration is provided under the responsibility of GEOPANNEL (producer of the FDES) according to standard NF EN 15804 + A1 and its national complement NF EN 15804 / CN.

Any exploitation, total or partial, of the information provided in this document must be at least accompanied by the complete reference of the original FDES as well as its producer.

CEN standard EN 15804 + A1 and the national complement NF EN 15804 / CN serve as rules for defining product categories (PCR).

NOTE: The literal translation in French of "EPD (Environmental Product Declaration)" is "DEP" (Déclaration Environnementale de Produit). However, in France, the term FDES (Fiche de Déclaration Environnementale et Sanitaire du Produit) is commonly used, which combines both the Environmental Declaration and Health information for the product covered by this FDES. The FDES is therefore a "DEP" supplemented by health information.

## 1.2 Reading guide

The results of the indicators are presented in scientific format with 3 significant digits including 2 digits after the decimal point.

## 1.3 Warning when using EPDs for product comparison

EPDs of construction products may not be comparable if they do not comply with standard NF EN 15804 + A1.

Standard NF EN 15804 + A1 defined in § 5.3 Comparability of EPDs for construction products, the conditions under which construction products can be compared, based on the information provided by EPD.

A comparison of the environmental performance of construction products using EPD information must be based on the use of the products and their impact on the building and must take into account the entire life cycle (all modules information). "

# 2. COMPANY INFORMATION

In constant evolution, we recycle textiles and manufacture non-woven products for more than 70 years. Today, under the GEOPANNEL® brand, we manufacture the latest generation of thermo-acoustic, leading our sector in terms of quality and technology.

We are currently present in the automotive, construction, aeronautics, industrial ventilation, refrigeration, felts for upholstery, packaging, medical, decoration and footwear sectors. In GEOPANNEL® we dedicate an

important part of our resources to Research and Development searching more effective and ecological solutions for all the sectors in which we are present.

With 15 Research and Development projects already carried out and two in progress, both at European and national level, we build our future and guarantee our customers the ability to adapt and immediate response to the needs of a changing world in constant evolution.

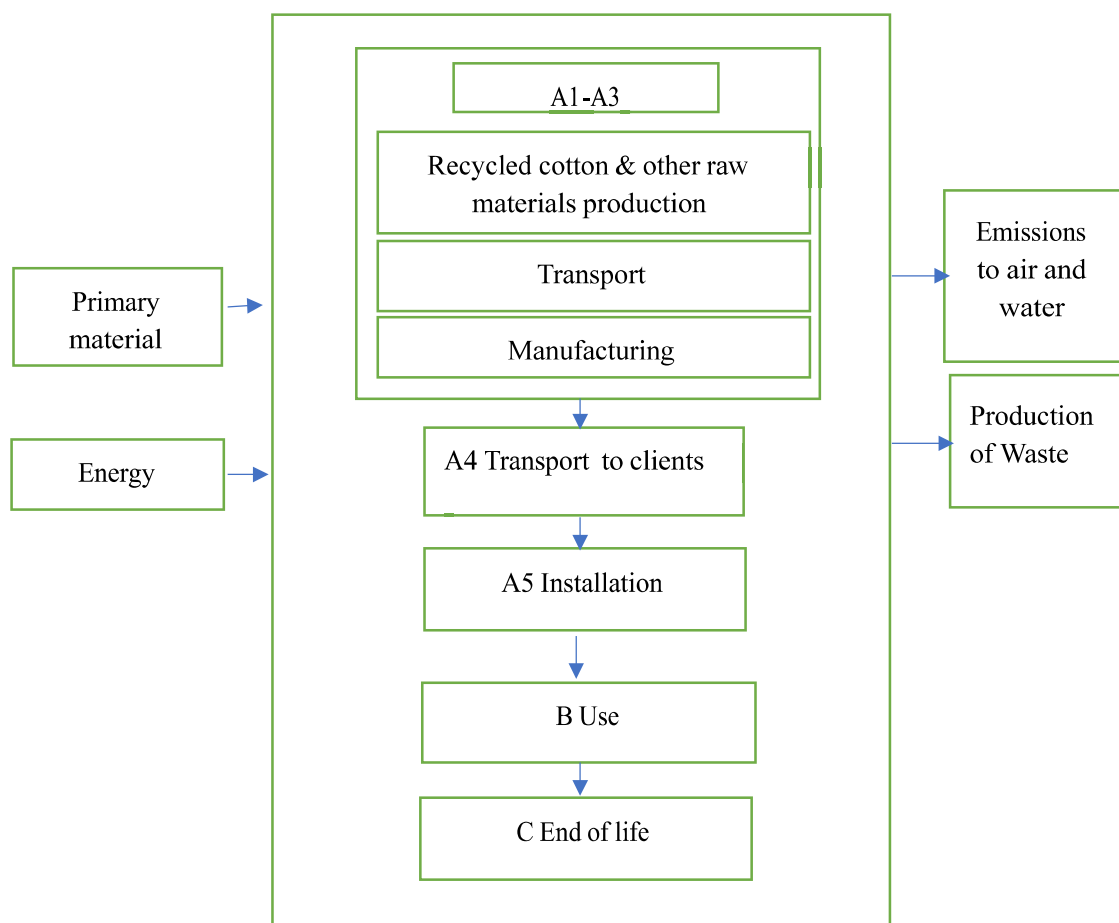
### 3. DESCRIPTION OF THE FUNCTIONAL UNIT OF THE PRODUCT

#### 3.1 Functional unit

To perform a thermal insulation function on 1 m<sup>2</sup> of wall for a thermal resistance value R of 1.1765K.m<sup>2</sup> / W (for 40 mm thickness) over a Reference Service Life of 50 years while ensuring the prescribed performance of the product. As a secondary function the product presents noise insulation properties.

#### 3.2 Limits of the system

The limits of the system under study are shown below.



### 3.3 Description and use of the product

GEOPANNEL® does not require special protection for its handling. As it does not contain mineral fibers, it is recommended for building roofs with air recirculation, ventilation ducts and busy premises, especially suitable for use in foodstuffs, large spaces such as auditoriums, classrooms, cinemas, etc.

This Fiche de Déclaration Environnementale et Sanitaire (FDES) describes the environmental impacts of the life cycle of 1 m<sup>2</sup> of GEOPANNEL® PYL 2.0 & GEOPANNEL® PYL 2.0 ALUMINIO (with aluminium facing by one face) insulation panel of 40 mm thickness. As additional information (out of the scope of this FDES) in annex 2 it is explained how to obtain the results for the other thicknesses sold.

The product is manufactured with bonded regenerated cotton with thermosetting resin.



### 3.4 Technical data and physical characteristics

Table 2 Thermal resistance of the product

| PRODUCT                  | THERMAL RESISTANCE (m <sup>2</sup> K/W) |
|--------------------------|---|
| GEOPANNEL PYL 2.0 40 mm. | 1.1765                                  |

Table 3 Technical specifications of the product

| TECHNICAL SPECIFICATIONS            | PERFORMANCE                 | STANDARD          |
|-------------------------------------|-----------------------------|-------------------|
| Conductivity                        | 0.034 W/m·K                 | EN 12667          |
| Reaction to fire                    | F                           | EN 13501-1        |
| Parallel tensile strength           | 95 kPa                      | EN 1608           |
| Dimensional stability               | DS (70,-) 3<br>DS (70,90) 3 | EN 1604           |
| Water absorption                    | 6 kg/m <sup>2</sup>         | EN 1609, method A |
| Density                             | 30 ± 15%                    | EN 1602           |
| Water vapour permeability           | 1 - 4                       | EN 12086          |
| Water vapour permeability aluminium | < 0.03 g/m <sup>2</sup> /d  | EN 1921           |

### 3.5 Description of the main compounds and / or materials

Table 4 Composition of the product

| PARAMETER                   | VALUE   |
|-----------------------------|---|
| Quantity of recycled cotton | 70%-90%   |
| Quantity of polyester       | 10%-30%   |
| Thickness                   | 40 mm   |
| Packaging                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• PALLET-0.1175 kg</li> <li>• PE- 0,0198 kg</li> </ul> |
| Biogenic Carbon stored      | 0,5332 Kg/m <sup>2</sup>  |

The product does not contain any substance from the candidate list according to the REACH regulation (in a percentage bigger than 0.1% by mass).

### 3.6 Description of the Reference Service Life

Table 5 Description of the Reference Service Life

| PARAMETER   | VALUE   |
|---|---|
| Reference service life (RSL)  | 50 years  |
| Declared properties of the product when leaving the factory, finishing, etc.  | Refer to the Declaration of Performance (DoP) according to the Règlement Produits de Construction (RPC) |
| Theoretical application parameters  | DTU 45  |
| Declared properties of the product when leaving the factory when the installation complies with the manufacturer's instructions | Compliant with EN 13172 standard  |
| Exterior environment  | The product is not intended to be used in the exterior.   |
| Interior environment  | Refer to the Declaration of Performance (DoP) according to the Règlement Produits de Construction (RPC) |
| Use conditions  | Insulating panel in recycled cotton   |
| Maintenance   | The product does not need any maintenance   |

## 4 LIFE CYCLE STAGES

### 4.1 System boundaries

In accordance with standards NF EN 15804 + A1 and its national complement NF EN 15804 / CN, the modules included are the next (from cradle to grave):

Table 6. Life cycle modules included in the system boundaries.

| Production stage    |           |               | Construction process stage |                           | Use stage |             |        |             |               |                        |                       | End of life stage          |           |                  |          | Module D |
|---------------------|-----------|---------------|----------------------------|---------------------------|-----------|-------------|--------|-------------|---------------|------------------------|-----------------------|----------------------------|-----------|------------------|----------|----------|
| Raw material supply | Transport | Manufacturing | Transport                  | Construction installation | Use       | Maintenance | Repair | Replacement | Refurbishment | Operational energy use | Operational water use | De-construction demolition | Transport | Waste processing | Disposal |          |
| A1                  | A2        | A3            | A4                         | A5                        | B1        | B2          | B3     | B4          | B5            | B6                     | B7                    | C1                         | C2        | C3               | C4       | D        |
| X                   | X         | X             | X                          | X                         | X         | X           | X      | X           | X             | X                      | X                     | X                          | X         | X                | X        | X        |

### A1-A3 PRODUCTION STAGE

The product stage is subdivided into three modules: A1) Raw material supply; A2) Transport and A3) Manufacturing.

#### A1 Raw material supply

This module takes into account the supply and processing of all raw materials and the energies that occur upstream of the manufacturing process. In particular, it covers the supply of raw materials (mainly recycled cotton and polyester). These recycled materials actually make up the majority of the mix, up to 80% of the total.

#### A2 Transport

Raw materials transportation to the manufacturing site.

### A3 Manufacturing



Products are made of recycled cotton fibers, mixed with polyester resin. In the beginning of the process the fibers are crushed and opened. Then these fibers are mixed with polyester resin, according to the product. After the fiber orientation the raw materials are placed in an oven and finally stabilized and cooled. The process ends with the cut and packaging. During this process all the scrap is reintroduced in the beginning of the process again.

### A4-A5 Construction process stage

The construction stage is divided into two modules: A4) Transport and A5) Construction-Installation.

#### A4 Transport

This module includes the transportation of the product from the manufacturing plant to the customer in France or Spain (results expressed in Annex 1).

Table 7. Specifications of the different types of transport used

| PARAMETER   | VALUE   |
|---|---|
| Average distance to the construction site                                     | 983 km (France), 388 km (Spain)   |
| Fuel type and vehicle consumption or type of vehicle used for transportation. | Average truck trailer with a 24t payload, diesel consumption 38 liters for 100 km |
| Use of truck capacity (including empty returns)                               | % assumed in Ecoinvent database   |
| Coefficient of use of the volume capacity                                     | 1   |
| Density of the product transported  | 30 kg/m <sup>3</sup>  |

## A5 Construction-Installation

This module includes the waste produced during the installation of the product in the building, the additional production generated to compensate for these losses (2% in our case) and the treatment of the produced waste (product losses+packaging).

Table 8. Main parameters / hypothesis applied in the Construction / Installation stage

| PARAMETER  | VALUE   |
|--|---|
| Auxiliary materials for installation   | No auxiliary input is used  |
| Water use  | -   |
| Use of other resources   | -   |
| Quantitative description of the type of energy consumption during the installation process   | No energy is used   |
| Materials produced by waste treatment at the construction site, for example collection for recycling, energy recovery, disposal (specified by route) | Pallet: 0.1175 Kg<br>PE: 0,0198 kg<br>Product losses: 2% .        |
| Materials produced by waste treatment at the construction site, for example collection for recycling, energy recovery, disposal (specified by route) | Packaging is 100% recycled.<br>Product losses are 100 landfilled. |
| Direct emissions to air, water and soil  | No direct emissions   |

## B Use stage

Description of the stage:

The use stage is divided into seven modules:

- B1) Use
- B2: Maintenance □ B3: Repair
- B4: Replacement
- B5:-Refurbishment
- B6: Operational energy use □ B7: Operational water use

No technical operation is necessary during the use phase until the end of life. Thus, there is no impact during this stage (except the energy savings during the use phase of the building in heating and cooling not introduced in the LCA results).

## C End of life stage

This stage includes the following modules: C1) Deconstruction, demolition; C2) Transport; C3) Waste processing; C4) Disposal.

### C1) Deconstruction, demolition:

The deconstruction and / or dismantling of insulation products is part of the demolition of an entire building. In our case, the environmental impact is assumed to be very low and can be neglected.

### C2) Transport

This module includes the transportation of waste to the waste manager.

### C3) Waste processing

The product is currently considered to be landfilled without reuse, recovery and / or recycling.

### C4) Disposal

The product is assumed to be 100% landfilled

Table 9. End of life scenario specifications

| PARAMETER  | VALUE   |
|--|---|
| Collection process specified by type                       | 100% of the product (1.20 Kg) is collected mixed with other construction waste.                   |
| Recovery system specified by type                          | -   |
| Disposal specified by type                                 | 100% landfilled   |
| Assumptions for scenario development (i.e. transportation) | Average truck trailer with a 24t payload, diesel consumption 38 liters for 100 km Distance: 50 km |



## D Benefits and loads beyond the system boundary

According to the information received from INIES dated March 15, 2024, module D has been declared null. However, it is worth noting that the studied product has the possibility of being recycled.

Here are the details received from the INIES platform:

French regulations require that all environmental declarations declare a module D starting from January 1, 2025. This topic, discussed in the INIES COPIL, resulted in the decision of COPIL N113, which was already shared with you on November 22, 2023 by Admin INIES.

As stated in COPIL N113's decision (attached), for EPDs in the NF EN 15804+A1 format, "the COPIL considers that the development of A1 EPDs, whose verification certificate is dated before November 1, 2022, and which do not declare a module D, may not necessarily have allowed the collection of the necessary information for the calculation of module D.

Considering that these EPDs will expire no later than December 31, 2025, the COPIL authorizes declarants of these EPDs to declare null values in their module D. All these EPDs will be allowed to carry out a minor update in the INIES database to complete the dataset without new verification. Adding the null module D to the PDF file of the EPD is optional.

Declaring a module D with non-null values will require verification; this declaration must accompany a major update of the EPD in A2 format and follow the requirements described below.

## 5. INFORMATION FOR THE CALCULATION OF THE LIFE CYCLE ANALYSIS

### 5.1. PCR used

This declaration is based on standard NF EN 15804 + A1 and its national complement NF EN 15804 / CN.

### 5.2. System boundaries

From cradle to grave (A+B+C).

### 5.3. Geographical and temporal representativeness of the data

Primary data (i. e. consumption of raw materials and energy, transport distance to the customer) has been supplied by the manufacturer and corresponds to 2019.

### 5.4. Secondary data

Ecoinvent 3.5 database has been used together with Simapro 9.0. The electricity generation mix corresponds to that of Spain in 2018<sup>1</sup>. The potential of global warming for the electric mix is 0.253 kg-eq. CO<sub>2</sub> / kWh.

### 5.5. Allocation

An allocation based in physical criteria has been made where necessary. The modularity principle has been followed. The polluter payer principle has been followed.

### 5.6. Cut-off rules

It has been included more than 99% of the total life cycle materials and energy use, and more than 95% of the materials and energy use per module.

### 5.7. Impact assessment methods

CML-IA v3.05 impact method has been used, together with EDIP v1.07 for waste production indicators and Cumulative Energy Demand v 1.11 for resource consumption indicators.

### 5.8. Variability of results

This FDES includes average of GEOPANNEL® PYL 2.0 & GEOPANNEL® PYL 2.0 ALUMINIO in 40 mm thickness. As additional information, in Annex 2 it is shown how to obtain the results for other thicknesses. Since the results between the maximum value and the average value differs less than 40%, the average value has been indicated.

---

<sup>1</sup> Source: Red Eléctrica Española. El sistema eléctrico español 2018.

## ANNEX 1: RESULTS FOR THE PRODUCT WITH DESTINATION SPAIN (40 mm thickness)

Table 14. Environmental impacts

| Indicator  | Production stage | Construction process stage |                             | Use stage |               |          |               |                 |                         |                        | End of life stage |             |                    |             | Total    | Module D |
|--|------------------|----------------------------|-----------------------------|-----------|---------------|----------|---------------|-----------------|-------------------------|------------------------|-------------------|-------------|--------------------|-------------|----------|----------|
|  | A1/A2/A3         | A4 Transport               | A5Construction/Installation | B1Use     | B2Maintenance | B3Repair | B4Replacement | B5Refurbishment | B6Operational energyuse | B7Operational wateruse | C1De-construction | C2Transport | C3Waste processing | C4 Disposal | Total    |          |
| Global warming (Kg CO2-eq)   | 2,27E+00         | 4,48E-02                   | 4,78E-02                    | 0         | 0             | 0        | 0             | 0               | 0                       | 0                      | 0                 | 5,16E-03    | 0                  | 6,34E-03    | 2,37E+00 | 0        |
| Ozone depletion (kg CFC-11 eq)   | 2,42E-07         | 8,98E-09                   | 5,33E-09                    | 0         | 0             | 0        | 0             | 0               | 0                       | 0                      | 0                 | 1,04E-09    | 0                  | 2,29E-09    | 2,59E-07 | 0        |
| Acidification of soil and water (Kg SO <sub>2</sub> )                    | 9,11E-03         | 1,17E-04                   | 1,89E-04                    | 0         | 0             | 0        | 0             | 0               | 0                       | 0                      | 0                 | 1,37E-05    | 0                  | 4,78E-05    | 9,48E-03 | 0        |
| Eutrophication (Kg PO4 eq)   | 1,64E-03         | 1,59E-05                   | 3,38E-05                    | 0         | 0             | 0        | 0             | 0               | 0                       | 0                      | 0                 | 1,87E-06    | 0                  | 8,21E-06    | 1,70E-03 | 0        |
| Photochemical ozone creation (Kg ethylene-eq)                            | 6,37E-04         | 6,95E-06                   | 1,31E-05                    | 0         | 0             | 0        | 0             | 0               | 0                       | 0                      | 0                 | 8,11E-07    | 0                  | 2,35E-06    | 6,60E-04 | 0        |
| Abiotic depletion potential for non fossil resources-elements (Kg Sb-eq) | 1,82E-05         | 8,36E-08                   | 3,69E-07                    | 0         | 0             | 0        | 0             | 0               | 0                       | 0                      | 0                 | 1,01E-08    | 0                  | 7,14E-09    | 1,86E-05 | 0        |
| Abiotic depletion potential for non fossil resources-fossil fuels (MJ)   | 3,46E+01         | 7,33E-01                   | 7,33E-01                    | 0         | 0             | 0        | 0             | 0               | 0                       | 0                      | 0                 | 8,48E-02    | 0                  | 1,92E-01    | 3,64E+01 | 0        |
| Water pollution (m3)   | 8,42E+02         | 4,22E+00                   | 1,71E+01                    | 0         | 0             | 0        | 0             | 0               | 0                       | 0                      | 0                 | 4,88E-01    | 0                  | 1,07E+00    | 8,65E+02 | 0        |
| Air pollution (m3)   | 9,12E+01         | 1,68E+00                   | 1,91E+00                    | 0         | 0             | 0        | 0             | 0               | 0                       | 0                      | 0                 | 1,96E-01    | 0                  | 3,16E-01    | 9,53E+01 | 0        |

Table 15. Use of resources

| Indicator  | Production stage | Construction process stage |                               | Use stage |               |          |               |                 |                         |                        | End of life stage            |             |                     |             | Total    | Module D |   |
|--|------------------|----------------------------|-------------------------------|-----------|---------------|----------|---------------|-----------------|-------------------------|------------------------|------------------------------|-------------|---------------------|-------------|----------|----------|---|
|  | A1/A2/A3         | A4 Transport               | A5 Construction/ Installation | B1Use     | B2Maintenance | B3Repair | B4Replacement | B5Refurbishment | B6Operationalenergy use | B7Operationalwater use | C1De-construction demolition | C2Transport | C3 Waste processing | C4 Disposal |          |          |   |
| Use of renewable primary energy, excluding renewable primary energy resources used as raw materials - MJ                     | 7,03E+00         | 7,63E-03                   | 1,41E-01                      | 0         | 0             | 0        | 0             | 0               | 0                       | 0                      | 0                            | 9,13E-04    | 0                   | 0           | 1,59E-03 | 7,18E+00 | 0 |
| Use of renewable primary energy resources as raw materials - MJ  | 1,95E+01         | 0                          | 3,90E-01                      | 0         | 0             | 0        | 0             | 0               | 0                       | 0                      | 0                            | 0           | 0                   | 0           | 0        | 1,99E+01 | 0 |
| Total use of renewable primary energy resources (primary energy and primary energy resources used as raw materials) - MJ     | 2,65E+01         | 7,63E-03                   | 5,31E-01                      | 0         | 0             | 0        | 0             | 0               | 0                       | 0                      | 0                            | 9,13E-04    | 0                   | 0           | 1,59E-03 | 2,71E+01 | 0 |
| Use of non-renewable primary energy, excluding non-renewable primary energy resources used as raw materials - MJ             | 4,22E+01         | 7,91E-01                   | 8,87E-01                      | 0         | 0             | 0        | 0             | 0               | 0                       | 0                      | 0                            | 9,16E-02    | 0                   | 0           | 2,07E-01 | 4,42E+01 | 0 |
| Use of non-renewable primary energy resources as raw materials - MJ  | 6,03E+00         | 0                          | 1,21E-01                      | 0         | 0             | 0        | 0             | 0               | 0                       | 0                      | 0                            | 0           | 0                   | 0           | 0        | 6,15E+00 | 0 |
| Total use of non-renewable primary energy resources (primary energy and primary energy resources used as raw materials) - MJ | 4,82E+01         | 7,91E-01                   | 1,01E+00                      | 0         | 0             | 0        | 0             | 0               | 0                       | 0                      | 0                            | 9,16E-02    | 0                   | 0           | 2,07E-01 | 5,03E+01 | 0 |