

PROPUESTA DE PLACAS DE YESO LAMINADO PARA TABIQUES AUTOPORTANTES CON MATERIAL RECICLADO PROCEDENTE DE BAYETAS DE MICROFIBRAS SINTÉTICAS.

TRABAJO FIN DE GRADO

Realizado por Carlos Ruiz Etayo

Tutora Filomena Pérez Gálvez

Equipo Docente Paloma Rubio de Hita, Enrique D. Fernández Nieto, Diego Frustaglia.

Grupo TFG H

Curso 2021-2022

Escuela Técnica Superior de Sevilla

Grado en Fundamentos de la Arquitectura



PRÓLOGO

| | |
|---------------------------------------|---|
| AGRADECIMIENTOS | 4 |
| RESUMEN, PALABRAS CLAVES | 5 |
| ABSTRACT, KEY WORDS | 6 |

ÍNDICE

| | |
|---|----|
| 1. INTRODUCCIÓN* | 7 |
| 1.1. ¿Qué es el plástico y cuáles son sus propiedades* | 7 |
| 1.2. Tipos de plástico* | 73 |
| 1.3. La problemática ambiental que suponen. El reciclaje como solución* | 8 |
| 2. ESTADO DE LA CUESTIÓN* | 11 |
| 2.1. Propiedades de los materiales que componen las bayetas de fibras sintéticas* | 11 |
| 2.2. Rayón (Viscosa)* | 11 |
| 2.3. Poliéster* | 12 |
| 2.4. Polipropileno* | 14 |
| 2.5. La problemática medioambiental de las bayetas* | 16 |
| 2.6. Estudios de referencia* | 17 |
| 3. OBJETIVOS* | 24 |
| 3.1. Objetivos generales* | 24 |
| 3.2. Objetivos específicos* | 24 |
| 4. HIPÓTESIS DE PARTIDA* | 25 |
| 5. METODOLOGÍA DE TRABAJO* | 26 |

| | |
|---|----|
| 6. PLANEAMIENTO EXPERIMENTAL* | 27 |
| 7. ANÁLISIS DE DATOS | 35 |
| 7.1. Peso | 35 |
| 7.2 DENSIDAD APARENTE | 37 |
| 7.3 RESISTENCIA A FLEXIÓN | 40 |
| 7.4 RESISTENCIA A COMPRESIÓN | 48 |
| 8. DISCUSIÓN DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES ENSAYO DE YESO | 54 |
| 9. DISEÑO DEL PRODUCTO PROPUESTO | 55 |
| 10. APLICACIÓN DEL PRODUCTO A UN CASO PRÁCTICO | 58 |
| 11. CONCLUSIONES FINALES | 63 |
| 12. BIBLIOGRAFÍA | 64 |
| 13. ANEXOS | 67 |

La labor realizada en los puntos 1,2,3,4,5 y 6, con sus respectivos subíndices (pág 7-27), se debe a una parte de trabajo e investigación realizada en grupo, junto con Cristina Cortés Pujol, Manuel Lozano Moya y Felix Sánchez Reche. El contenido de estos apartados será común en los cuatro trabajos.

AGRADECIMIENTOS

A los pilares de mi vida, mis padres, mis hermanos y Tayron, que siempre me han apoyado, me han dado fuerzas y han estado a mi lado en el largo camino que supone esta carrera.

A mi tutora Filomena Pérez Gálvez y el equipo docente formado por Paloma Rubio de Hita, Enrique D. Fernández Nieto y Diego Frustaglia, que me han guiado y aconsejado a lo largo de la elaboración de este proyecto.

Finalmente, a mis compañeros Cristina Cortés Pujol, Manuel Lozano Moya y Félix Sánchez Reche, por trabajar codo con codo a mi lado a lo largo de este tiempo y compartir esta gran experiencia conmigo.

RESUMEN, PALABRAS CLAVE

El reciclaje de todo tipo de productos y materiales se ha convertido en una de las acciones más importantes en la sociedad actual.

Este trabajo se centra en el reciclaje de bayetas de microfibras sintéticas para el ámbito de la arquitectura, así como la reducción de contaminación y residuos gracias a estas. Se estudiarán las capacidades físicas y mecánicas, de dicho material, en una matriz de yeso y se comprobará la respuesta de estas a distintos tipos de ensayos. Para ello se realizarán probetas con tres porcentajes de aditivos distintos (1%, 1,5% y 2% del peso) las cuales se someterán a ensayos de peso, densidad aparente, capacidad a flexión y capacidad a compresión.

El análisis de los resultados obtenidos indica la viabilidad del producto sintético en rehabilitaciones, concretamente en placas de yeso laminado en tabiques autoportantes, gracias a su disminución en el peso y la densidad, con respecto a otros materiales comercializados.

PALABRAS CLAVE: Yeso, residuos, microfibras, rayón, poliéster, polipropileno, comportamiento mecánico.

ABSTRACT, KEY WORDS

The recycling of all kinds of products and materials has become one of the most important actions in today's society.

This work focuses on the recycling of synthetic microfiber cloths for the field of architecture, as well as the reduction of pollution and waste thanks to these. The physical and mechanical capacities of this material in a gypsum matrix will be studied and the response of these to different types of tests will be checked. To do this, specimens will be made with three percentages of different additives (1%, 1.5% and 2% of the weight) which will be subjected to tests of weight, bulk density, bending capacity and compression capacity.

The analysis of the results obtained indicates the viability of the synthetic product in rehabilitations, specifically in laminated plasterboard in self-supporting partitions, thanks to its decrease in weight and density with respect to other materials marketed.

KEYWORDS: Plaster, waste, microfibers, rayon, polyester, polypropylene, mechanical behavior.

1. INTRODUCCIÓN

1.1 ¿Qué es el plástico y cuáles son sus propiedades?*

En la actualidad, los plásticos suponen una parte fundamental de nuestro día a día, encontrándose en cualquier ámbito, desde el sector alimentario hasta el industrial. Este se puede hallar en todos los formatos posibles y con innumerables combinaciones.

La base de este material está formada por compuestos orgánicos o sintéticos, como puede ser el petróleo, la celulosa o el carbón. Tienen múltiples propiedades, entre las que destacan su maleabilidad, lo que le confiere intrínsecamente gran cantidad de aplicaciones y, por ende, una masiva demanda de este. [1]

Los plásticos reúnen una serie de propiedades perfectamente balanceadas no obtenibles por otros materiales: color, ligereza, tacto agradable y resistencia a la degradación (durabilidad).

Curiosamente, la palabra plástico, se refiere al estado del material, y no al material en sí mismo; debido a que cuando los polímeros sintéticos alcanzan una temperatura concreta, obtienen una consistencia viscosa o fluida (estado plástico), la cual le transfiere la capacidad de moldearse sin ejercer resistencia. [2]

“Las propiedades mecánicas fundamentales de los materiales incluyen:

- **Resistencia:** Mide la resistencia de un material a esfuerzos externos
- **Rigidez:** Mide la resistencia de un material a la deformación
- **Dureza:** Mide la resistencia de un material a la deformación bajo una carga compresiva concentrada
- **Tenacidad:** Mide la capacidad de absorber energía de un material durante los impactos” [30]

1.2. Tipos de plástico*

Los plásticos son en su mayoría polímeros orgánicos. Están sintetizados, normalmente a partir de derivados del petróleo (petroquímicos), aunque también existe una ínfima minoría que proviene de fuentes renovables, como derivados del almidón de maíz o la celulosa del algodón. Existen dos tipos de plásticos principalmente: termoplásticos y termoestables.

Los termoplásticos son una familia de plásticos que se pueden fundir cuando se calientan y endurecerse cuando se enfrían. Estas características son reversibles, es decir, el proceso se puede repetir, y debido a esto tiene mayor capacidad de reciclaje. [3]

“Listado de termoplásticos:

- | | |
|-----------------------------------|------------------------------------|
| -Polietileno (PE) | -Poli(metacrilato de metilo (PMMA) |
| -Polipropileno (PP) | -Elastómeros termoplásticos (TPE) |
| -Policloruro de vinilo (PVC) | -Poliarilsulfona (PSU) |
| -Tereftalato de polietileno (PET) | -Fluoropolímeros |
| -Poliestireno (PS) | -PEEK |
| -Poliestireno expandido (EPS) | -POM |
| -ABS | -PBT |
| -SAN | -EVOH |
| -Poliamidas (PA) | -Etc.” [3] |

-Policarbonato (PC)

Los termoestables son una familia de plásticos que se someten a una transformación química a nivel molecular al calentarse, creando una red tridimensional. Estos, en cambio, no son reversibles, por lo que hace imposible su reciclaje.

"Listado de termoestables:

-Poliuretano (PUR)

-Poliéster insaturado

-Resinas epoxi

-Resina de melamina

-Éster vinílico

-Silicona

-Resinas de fenol-formaldehído

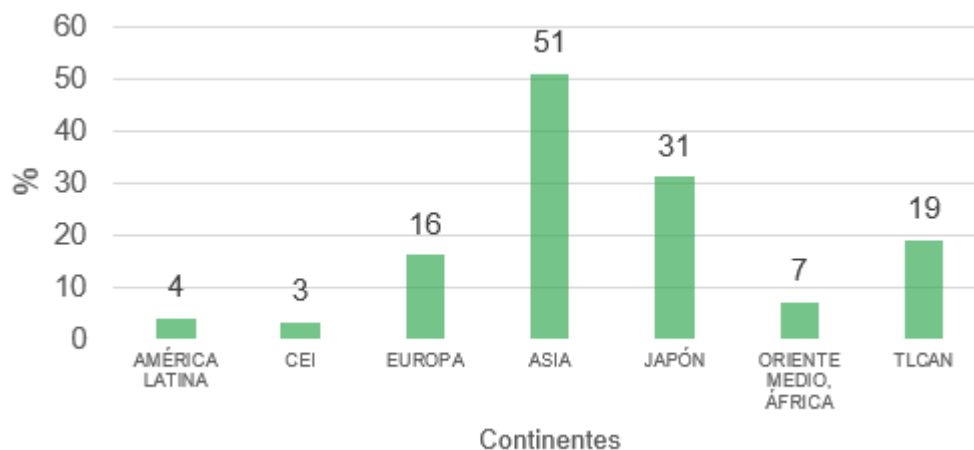
-Resinas de urea-formaldehído

-Resinas acrílicas

-Etc." [3]

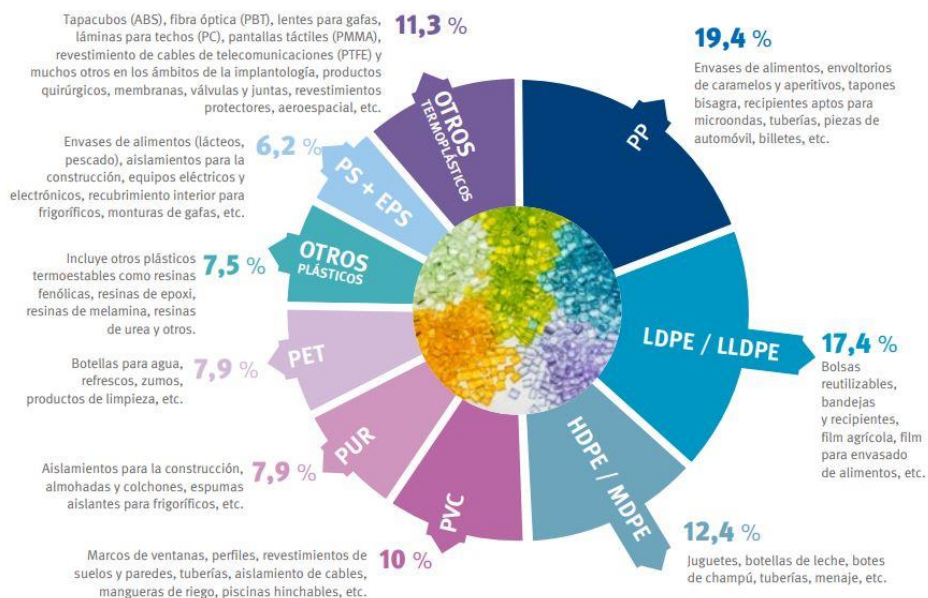
1.3. La problemática ambiental que suponen. El reciclaje como solución*

Los plásticos más comunes, derivados del petróleo, son de fácil fabricación y con un costo muy bajo, lo que fomenta su producción en masa. **Asia** encabeza la lista en cuanto a la producción, con un **51%** de los plásticos de todo el mundo, siendo de **China** un **31%**. Sin embargo, **Latinoamérica**, produce el **4%**, lo que pone en evidencia la diferencia de capacidad industrial y monopolización del mercado que existe entre ambas. [3]



[Figura 1]: Producción de plásticos en el mundo. EP

El uso de estos se puede dar en ámbitos como la edificación, construcciones, movilidad y transporte, dispositivos electrónicos y eléctricos, agricultura, atención sanitaria y una infinidad de campos más.



[Figura 2]: Distribución de la demanda de plásticos por tipo de resina en 2019. - <https://plasticseurope.org/es/>

Debido a que estos plásticos se utilizan en una gran variedad de condiciones y son polivalentes, su producción es masiva, para dar respuesta a esa gran demanda, que conlleva a la aparición de muchos puestos de trabajo y creando un comercio muy amplio. Según datos de la página PlasticsEurope.org hay más de 1,56 millones de puestos de trabajo en Europa en más de 55.000 empresas, produciendo un mercado que mueve alrededor de 350.000 millones de euros y un balance comercial positivo de 13.100 millones de euros en 2019. [3]

Como es obvio los grandes beneficios conllevan a la inversión de más empresas y por lo tanto incrementan la producción de este material, llegando a producir, en 2019, 368 millones de toneladas de los cuales, 57,9 millones proceden de Europa. [3]

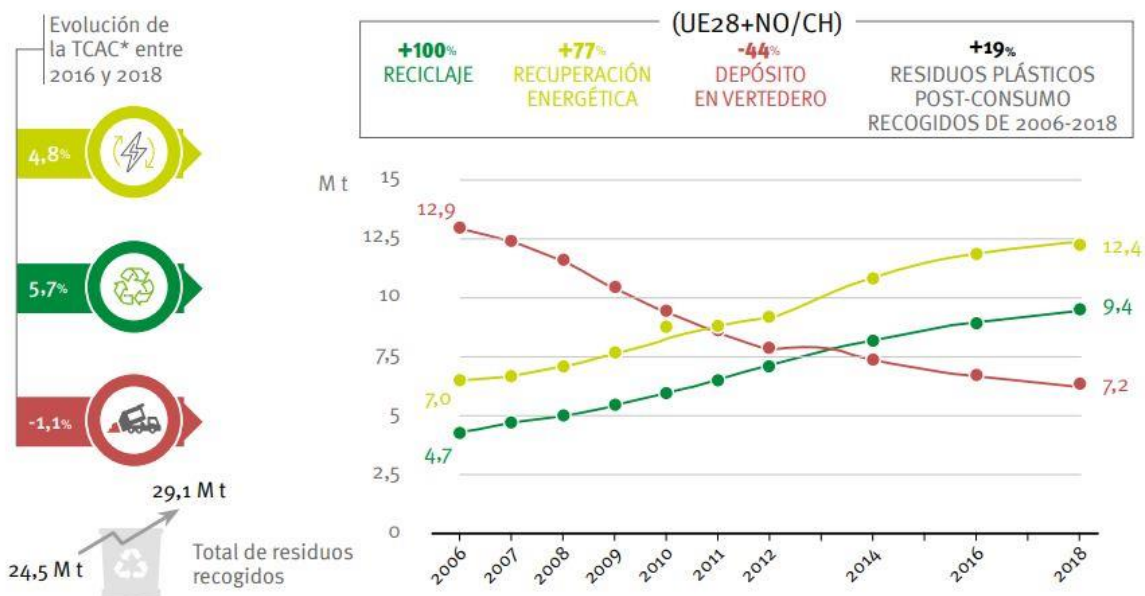
De esta forma la no utilización de plástico es inviable, junto con la producción masiva, la difícil reutilización de algunos de estos materiales, el deficiente método de reciclaje, así como la concienciación de las personas, han creado una situación de carácter global que requiere una intervención inmediata por parte de la ciudadanía y de las empresas productoras.

Lo que nos lleva a una cuestión de valor ambiental, en el que se debe encontrar el balance perfecto entre coste ambiental-beneficio, reduciendo al máximo la huella ecológica que la producción del plástico supone.

Esto se podría conseguir, mediante la óptima gestión de los plásticos al final de su vida útil a través de distintas técnicas como: el reciclaje, la recuperación energética o la reutilización controlada de los residuos plásticos post-consumo.

Aún con lo mencionado anteriormente, la predisposición a revertir la situación es positiva. Cada vez hay nuevos métodos de reciclaje y formas de reutilización, lo que lleva a un impacto positivo en la naturaleza.

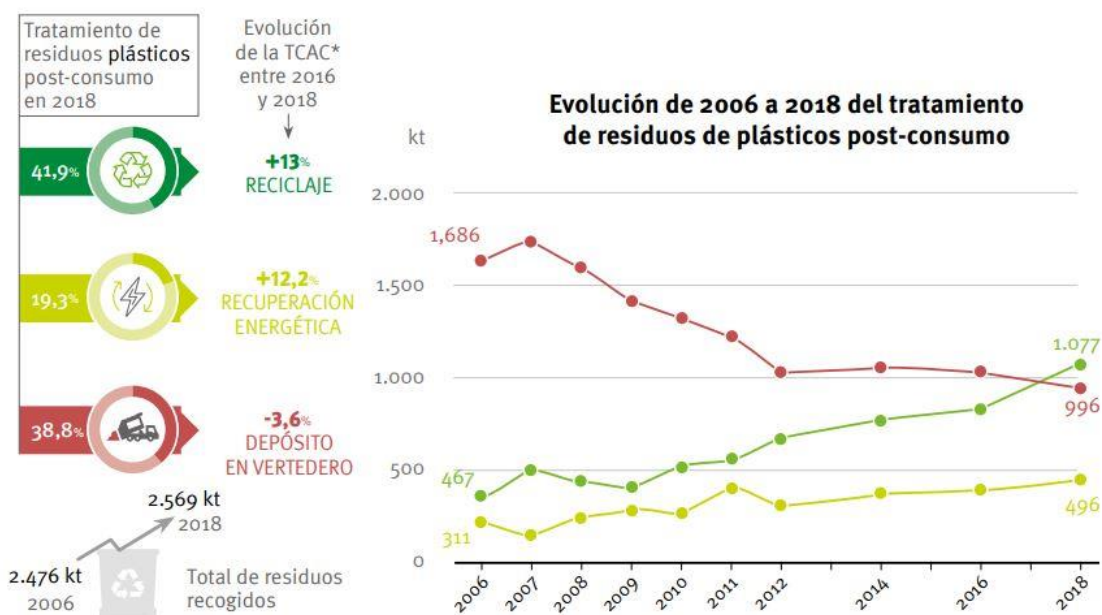
Evolución de 2006 a 2018 del tratamiento de residuos de plásticos post-consumo



[Gráfica 1]: Tratamiento de residuos Plásticos en la Unión Europea. - <https://plasticseurope.org/es/>

Gracias a estos nuevos métodos de reciclaje y de reutilización se ha reducido notablemente la cantidad de residuos en vertedero y en la Unión Europea se han conseguido reducir los plásticos depositados en vertederos a un 0% mediante la aplicación de determinadas restricciones que lo controlan.

Aunque como podemos observar, en España, aún estamos bastante lejos de conseguirlo, con unos valores de plásticos depositados en vertederos que alcanzan prácticamente el 40% y con valores bastante estables en la última década, lo cual es preocupante ya que, aunque el reciclaje de plásticos aumente, la tendencia no es muy positiva si tenemos en cuenta los logros realizados por otros países. [3]



[Gráfica 2]: Tratamiento de residuos Plásticos en España. - <https://plasticseurope.org/es/>

2. ESTADO DE LA CUESTIÓN

2.1. Propiedades de los materiales que componen las bayetas de fibras sintéticas*

El material escogido para este estudio son las bayetas multiusos, cuya composición es 70% Viscosa, 15% Poliéster y 15% Polipropileno. Estos tres componentes son los plásticos más demandados en el 2019 según la fuente Plastics Europe. [3]

Desde los inicios se ha tendido a mezclar materiales para ganar distintos tipos de propiedades que uno solo no podría proporcionar. De esta manera se dio la creación de las matrices, las cuales pueden ser metálicas, cerámicas y poliméricas. En nuestro caso, los que componen las bayetas se unen para formar una matriz polimérica, es decir, una matriz en la cual la base es una fibra orgánica (Rayón) y se le adicionan: un polímero (Polipropileno) y una resina termoestable (Poliéster). Los tres elementos juntos forman lo denominado como Compuestos de Matriz Polimérica (CMP).

Por regla general estos compuestos de matriz polimérica suelen usar resinas termoestables, líquidos viscosos. Estos elementos reciben un proceso de curado que se lleva a cabo mediante reacción exotérmica (desprendimiento calor interno) y sus propiedades suelen ser idénticas a lo largo de todo el elemento. Dichas resinas tienen como propiedad que no se funden, pero a cambio sí que pierden resistencia, por esta razón no se usan de manera frecuente en elementos estructurales. Esta característica, positiva en muchos sentidos, tiene un gran defecto: impide la reutilización y reciclaje del elemento que forma, ya que su estructura química ha sufrido cambios.

2.2. Rayón (Viscosa)*

El rayón o viscosa es una fibra que se produce a partir de un polímero que se encuentra en la naturaleza, la cual pasa por un proceso de fabricación. Se usa mayormente en la confección textil, en decoración textil, en industria y otros usos, como por ejemplo productos para la higiene femenina. [6]



[Imagen 1]: Tejido de Viscosa

Fuente: <https://es.wikipedia.org/wiki/Viscosa>



[Imagen 2]: Tejido de rayón

Fuente: <https://es.wikipedia.org/>

La base del rayón es la celulosa, el polímero orgánico más abundante, y su proceso exige un alto uso de agua y de energía, lo cual contribuye con la contaminación del agua y el aire. El método de producción del rayón que se usa hoy en día es el mismo que se desarrolló a principios de los

años 90, y tiene la capacidad de producir tanto filamentos como fibras entretrejidas. El rayón filamentososo tiene de 80 a 980 filamentos por hilo, estas fibras son por naturaleza, muy brillantes, pero la adición de pigmentos mates reduce su brillo natural.

La versatilidad del rayón es el resultado de la ingeniería química y estructural de la fibra mediante el uso de las propiedades de la celulosa de la que está hecha. [8]

2.2.1 Proceso de producción del rayón

El sistema de producción se inicia tratando celulosa, la cual primero se disuelve en hidróxido de sodio (NaOH) y a continuación es prensada para eliminar el exceso de líquido. Las hojas prensadas son desmenuzadas para producir lo que se conoce como la "pasta blanca", debido a su exposición al oxígeno. [6]

Entonces es mezclada con disulfuro de carbono (CS_2) en un proceso conocido como xantación, que modifica la composición de la mezcla de celulosa resultando un producto llamado "pasta amarilla". [8]

Posteriormente esta "pasta amarilla" es diluida en una solución cáustica (NaOH) para formar viscosa, la cual se deja reposar durante un tiempo para que madure. Tras esto, la viscosa se filtra para purificarla y eliminar cualquier burbuja de aire. [6]

Esta solución es extraída a través de un molde "colador". Una vez que la viscosa sale del molde se sumerge en ácido sulfúrico (H_2SO_4), dando como resultado los filamentos de rayón, los cuales son estirados para fortalecer las fibras. A continuación, las fibras son lavadas para eliminar cualquier residuo químico. Si lo que se desea producir son filamentos, el proceso acaba aquí, si no se sigue con el entretrejo. [8]

El proceso de estirado aplicado en el hilado se puede ajustar para producir fibras de rayón de mayor resistencia y alargamiento reducido. Estas fibras se designan como rayón de alta tenacidad, que tiene aproximadamente el doble de resistencia y dos tercios del estiramiento del rayón normal. [6]

2.3. Poliéster*

Como se detalla en la introducción, las matrices poliméricas usan resinas termoestables y la más utilizada en el mundo es el poliéster. Como es evidente dicha resina está presente en el elemento de estudio, siendo uno de los tres materiales que forman las bayetas.

En este caso el poliéster se presenta como plástico termoestable, para que su adición al resto de materiales sea mucho más favorable, pero originalmente es una resina y tiene que sufrir un proceso químico para llegar a este punto. Hay dos tipos de resinas: preaceleradas y no preaceleradas. Se hace esta distinción porque a temperatura ambiente el poliéster es líquido y para que pase a sólido se le tiene que añadir un catalizador (preaceleradas) o un acelerador y un catalizador (no preaceleradas). En este caso solo necesitamos la adición de un catalizador, metil-etil-cetona peróxido, pero hay que tener en cuenta que una vez llevado a cabo este proceso de transformación el material ya no puede volver a su forma original, siendo este el problema por el que no se pueden reciclar las bayetas. [9]

“Entre las resinas de poliéster podemos encontrar como las más comunes: las ortoftálicas y las isoftálicas. Pre-aceleradas y no pre-aceleradas (vírgenes).

- *Ortoftálicas: De uso general en ambientes no agresivos.*
- *Isoftálicas: Buen desempeño mecánico, resistente al agua y a agentes químicos.*
- *Isoftálicas con neopentilglicol (ISO-NPG): alta resistencia química y al ambiente.” [9]*

2.3.1. Proceso de producción del poliéster

El poliéster es una resina que se encuentra en estado líquido y necesitamos en estado viscoso, por lo que tenemos que someterla a un proceso químico que nos asegure el cambio:

“La resina de poliéster es un polímero que se obtiene por policondensación de un diácido con un dialcohol y un monómero insaturado de estireno. Esta resina se encuentra en estado líquido bastante viscoso y para conseguir que pase a estado sólido es necesario emplear un catalizador que permite la solidificación vinílica de radicales libres cuya actividad consiste en activar los dobles enlaces de las cadenas de poliéster y de las moléculas de estireno.” [9]

Una vez se inicia este proceso de cambio de estado hay dos etapas:

- *Gelificación: proceso por el cual el poliéster pasa de estado líquido a un estado más espeso y viscoso, más parecido a un gel.*
- *Endurecimiento: Esta última etapa consiste en el curado del poliéster mediante la aplicación de calor a altas temperaturas, con la precaución de que el material no esté expuesto ni a una temperatura excesiva, ni demasiado tiempo.*

“Los principales factores que intervienen en el proceso de curado son:

- *El tipo y referencia de resina empleada.*
- *La temperatura ambiente, la mayoría de las resinas no curan a temperaturas inferiores a 160C.*
- *La naturaleza y cantidad de catalizador y acelerador.*
- *A mayor cantidad de ambos, menos tiempo de gelificación.*
- *La naturaleza y cantidad de las cargas.*
- *Si estas son elevadas retrasan el curado.*
- *La humedad relativa.*
- *Es necesario mantener una humedad relativa entre 40 y el 54 %*
- *El exceso de exposición al sol.*
- *El incremento de la temperatura del proceso, la cual reduce el tiempo de gelificación.*
- *A temperatura ambiente no se debe sobrepasar los 27 0C por cuestiones puramente lógicas.*
- *Espesor del laminado, cuyo aumento disminuye el tiempo de gelificación.” [9]*

En resumen, el poliéster cuando se produce se modifica molecularmente su estructura química, esto hace su reciclaje imposible. Es por eso que las bayetas después de terminar su vida útil se tiran sin posibilidad de reutilización. Esto hace que incorporarlas de cualquier manera a un ámbito de la arquitectura produzca un beneficio inmenso.

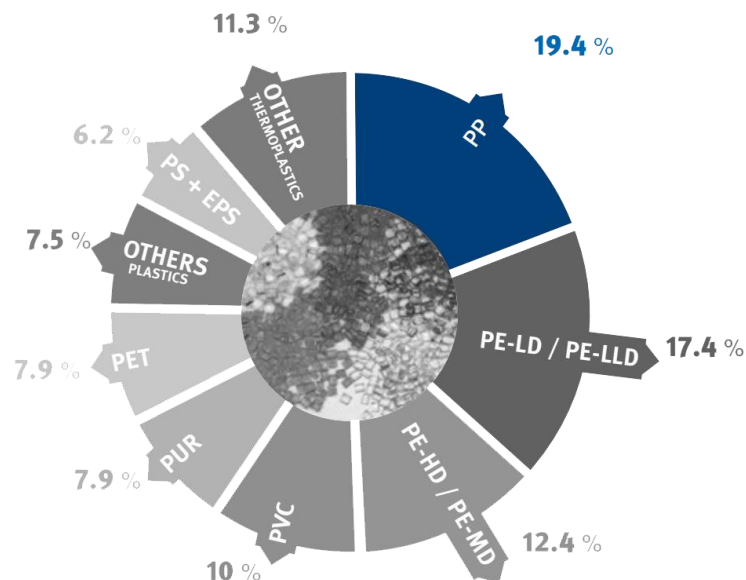
2.4. Polipropileno*

El tercer componente de nuestro material es la resina de polipropileno (PP), que se obtiene mediante la polimerización del propileno. Dicho material presenta unos beneficios como pueden ser: la durabilidad, buena resistencia a la flexión y fatiga, trabaja bien frente al agua y la humedad, tiene una densidad baja, es económico y es reciclable al 100%. Debido a estas características es un material que está ganando mucha importancia y que se espera que siga aumentando los próximos años, ampliando la diferencia respecto a los otros termoplásticos.



[Imagen 3]: Muestra de polipropileno. Fuente: <http://es.seerepet.com>

Para ponernos en escala, el 19,4% de la demanda de plásticos pertenece al polipropileno, aumentando la cifra hasta prácticamente 10 millones de toneladas en 2019 en Europa. [3]



[Figura 3]: Distribución de la demanda de plásticos por tipo de resina en 2019. Fuente: <https://plasticseurope.org/es/>

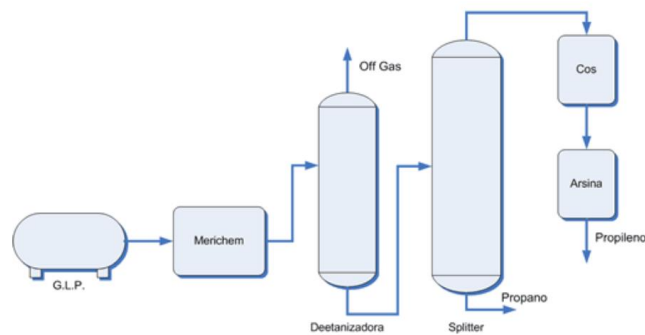
El uso del polipropileno es muy variado y lo podemos encontrar en cualquier ámbito de la vida cotidiana, desde textiles (como alfombras, mascarillas y ropa quirúrgica), pasando por juguetes y envases industriales, hasta piezas y partes de vehículos. [10]

2.4.1. Proceso de producción del polipropileno

Para la fabricación del polipropileno hay que realizar varios procesos. En primer lugar, se tiene que destilar el propileno, del cual deriva el polipropileno, y posteriormente polimerizar este

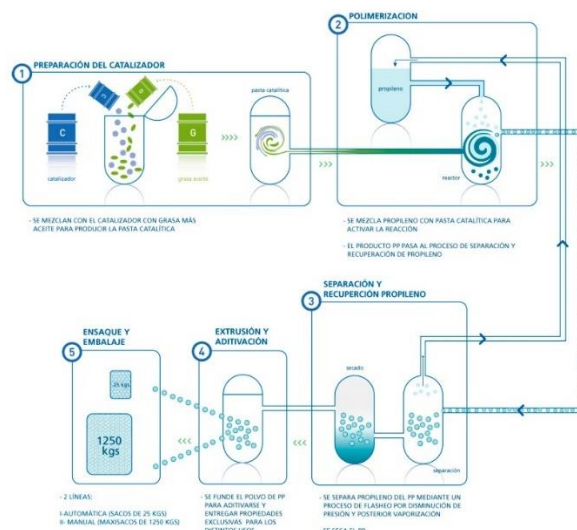
mediante un tipo de transformación, que en este caso es el proceso Spheripol. Hay variedad de métodos para tratar el propileno, pero el más común es el que se realiza mediante Gas Licuado de Petróleo (G.L.P.). [22]

El proceso de extracción del propileno se lleva a cabo mediante una serie de pasos en los cuales se extraen, se destilan y se eliminan componentes mediante procesos químicos y máquinas complejas, como podría ser la destilación mediante Splitter, con el fin de obtener el Propileno. [22]



[Imagen 4]: Proceso de producción del polipropileno. <http://www.petroquim.cl/que-es-el-polipropileno/>

Después de obtener el propileno, este pasa por el proceso Spheripol, que consiste en un recorrido por dos circuitos. En primer lugar, se mezcla el propileno con un catalizador en un circuito tipo bucle donde estos se mueven a gran velocidad. De aquí pasan a un segundo circuito donde mediante un proceso de vaporización se separan las partículas de polipropileno (sólidas), de las de propileno (gas), que vuelven al circuito de polimerización. Por último, estas partículas de PP son mezcladas con aditivos, para posteriormente darle la forma necesaria y finalmente llevar a cabo su distribución comercial. [22]

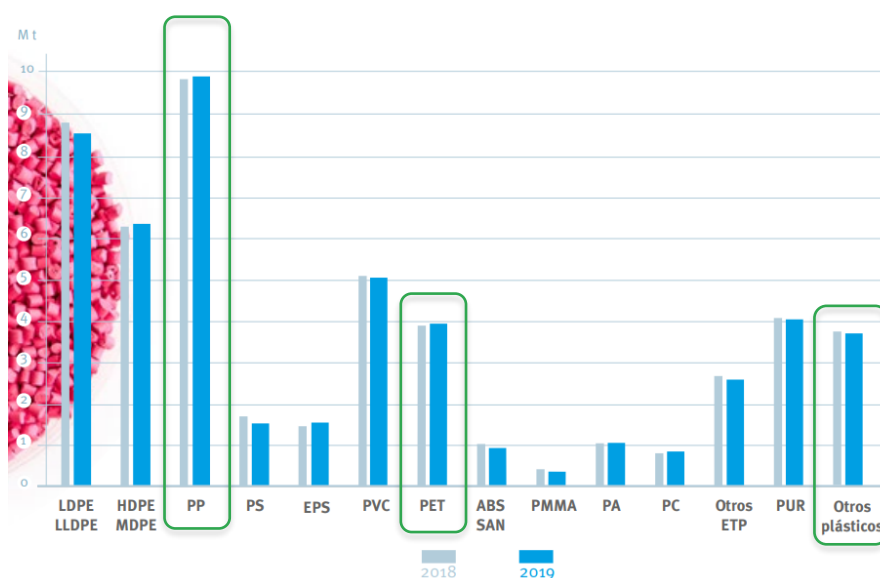


[Imagen 5]: Proceso de producción final del polipropileno. <http://www.petroquim.cl/que-es-el-polipropileno/>

2.5. La problemática medioambiental de las bayetas*

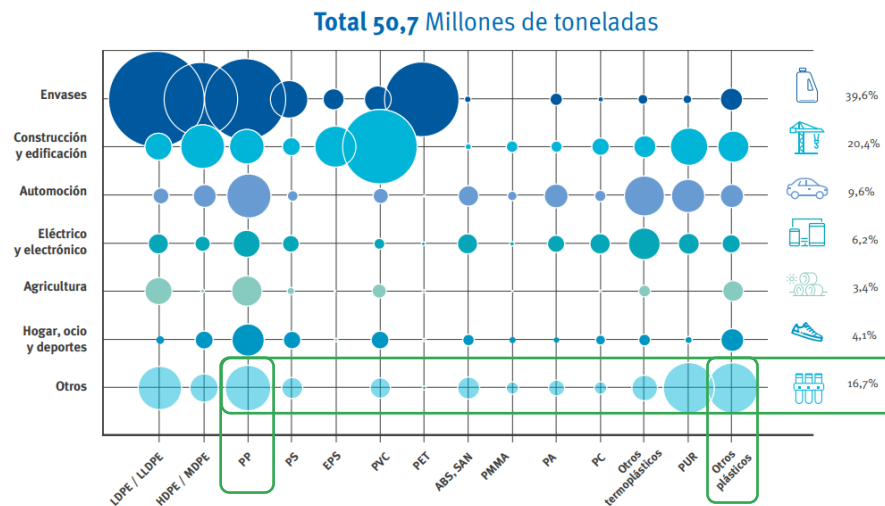
El material escogido para este estudio son las bayetas multiusos de limpieza, que destacan por su alto grado de absorción, gracias a su composición de viscosa con poliéster y polipropileno. Las bayetas, como bien sabemos todos, son un elemento presente en todos los hogares, su versatilidad y ayuda para ciertas tareas, lo han convertido en un elemento de alta prioridad. Pueden ser usadas desde la recogida de sustancias líquidas, como el agua, hasta la limpieza de superficies que contienen polvo u otros materiales de suciedad.

Debido a su composición y a su compatibilidad con el agua estas pueden ser lavadas y reutilizadas, como si de ropa se tratase, con la diferencia de que la vida útil de una bayeta es inferior a la de cualquier elemento textil. Dependiendo de la composición su vida útil, en el mejor de los casos, suele estar entre 2-3 lavados y a partir de aquí ya no desarrolla correctamente su función, convirtiéndose en un material residual, ya que no se puede reciclar ni reutilizar.



[Gráfica 3]: Demanda Europa de plásticos 2019. Fuente: Plastics – the facts 2020. - <https://plasticseurope.org/es/>

Además, los materiales que las componen, previamente expuestos, forman parte de los plásticos que más toneladas de residuo suponen a lo largo del año, siendo el polipropileno el más destacado ascendiendo a una cifra cercana a los 10 millones de toneladas en el año 2019. [3]



[Figura 4]: Tratamiento de residuos Plásticos en España. - <https://plasticseurope.org/es/>

El sector de productos del hogar, ocio y deportes supone un 4.1% del total de residuo anual en Europa, destacando en ellos también el polipropileno, así como el uso de otros plásticos en los cuales se encuentra contenido el rayón, componente principal de nuestras bayetas. [3]

2.6. Estudios de referencia.*

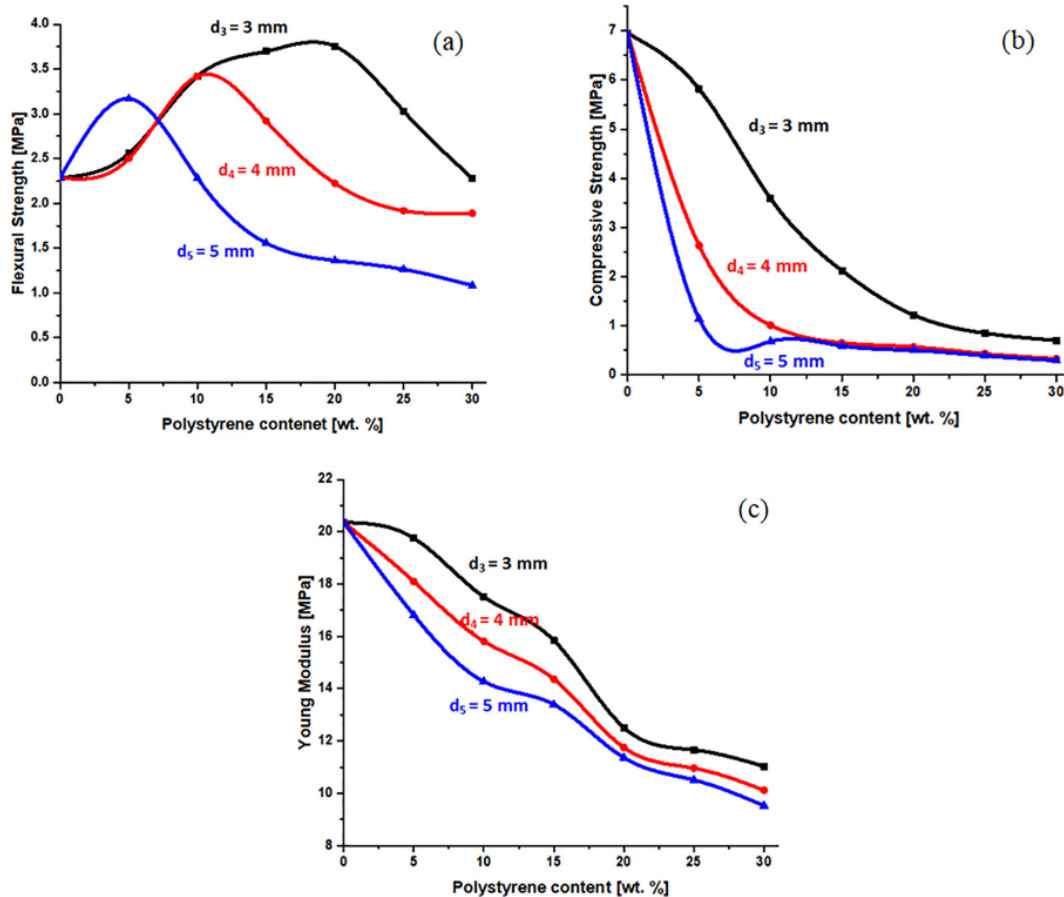
1. Gypsum-plasters mixed with polystyrene balls for building insulation: Experimental characterization and energy performance. *Construction and Building Materials*, 283, 122625. Bouzit, S., Merli, F., Sonebi, M., Buratti, C., & Taha, M. (2021). (Yesos mezclados con bolas de poliestireno para aislamiento de edificios: Caracterización experimental y rendimiento energético.) [31]

Esta investigación nace con la intención de estudiar la mejora de la envolvente y asegurar el ahorro energético a la hora de la rehabilitación de edificios, añadiendo bolas de poliestireno (BPS) al yeso teniendo en cuenta sus propiedades mecánicas, térmicas y acústicas, variando el tipo de contenido y los diámetros de dichas bolas. Gracias a esto podremos ver cómo se comporta un yeso tras la adición de un plástico, como es en nuestro caso.

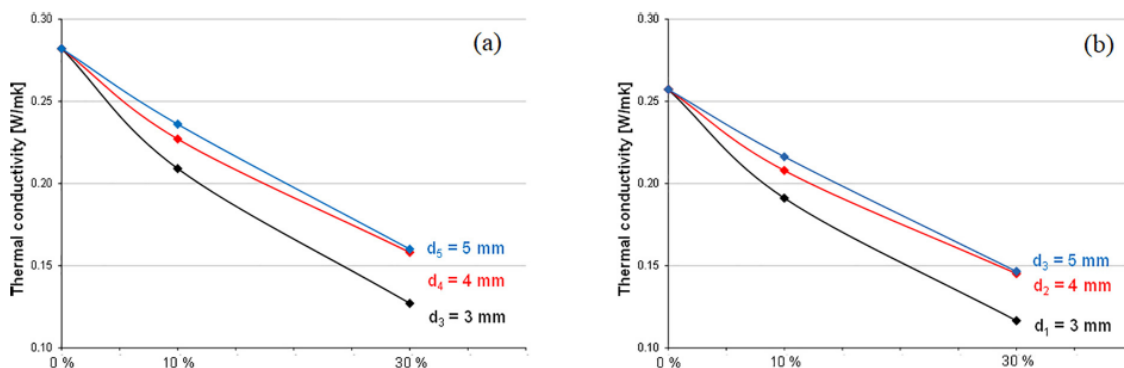


[Imagen 6]: Bolas de poliestireno (BPS). FUENTE: <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2021.122625>

A modo de resumen, el estudio obtiene como resultado que en cuanto a aislamiento acústico y sus propiedades mecánicas, se reducen ambas con un 10% en peso de bolas de 3mm.



[Gráfica 4]: Resistencia flexión (a), resistencia a compresión (b): influencia del contenido de poliestireno y del diámetro de las bolas. FUENTE: <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2021.122625>

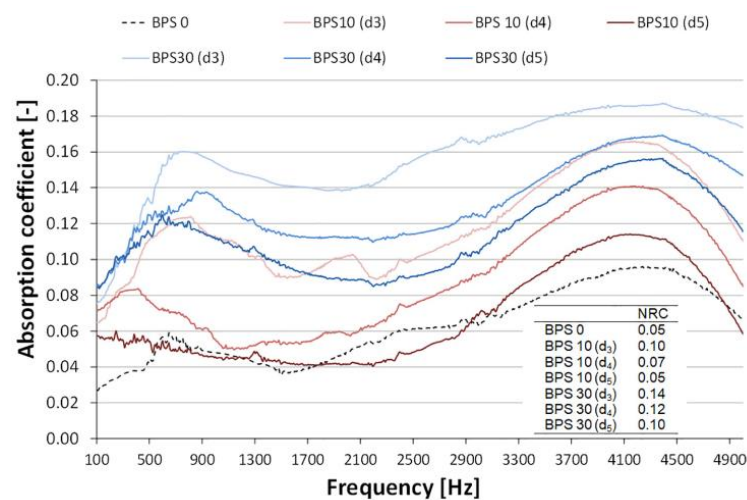


[Gráfica 5]: Conductividad térmica del revoque de yeso con bolas de poliestireno: influencia del contenido y diámetro del poliestireno. (a) k-valores @31-33 -C y (b) k-valores @10 -C. FUENTE: <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2021.122625>

En cuanto a la minimización de la demanda energética se reduce un 16% con un contenido de bolas de poliestireno del 30%, siendo la solución más adecuada un espesor del material aislante de 3 cm de grosor, para reducir al máximo el impacto ambiental de dicho sistema constructivo.



[Imagen 7]: Muestras para ensayo de Tubo de Kundt sin perforaciones y con apariencia lisa.
FUENTE: <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2021.122625>



[Gráfica 6]: Coeficiente de absorción de incidencia normal de las muestras. FUENTE: <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2021.122625>

En cuanto al coeficiente de absorción, medido mediante tubo de Kundt, mejoraron ligeramente respecto a la prueba sin poliestireno. Siendo más significativo cuanto más pequeñas (por ende, se deduce que mayor densidad al existir menos aire entre ellas) eran las bolas de EPS, alcanzando los valores pico alrededor de 4000 Hz y 800 Hz.

2. Analytical modeling of strength in randomly oriented PP and PPTA short fiber reinforced gypsum composites. *Computational Materials Science*, 50(5), 1619–1624. Mohandesi, J. A., Sangghaleh, A., Nazari, A., & Pourjavad, N. (2011). (Modelado analítico de la resistencia en compuestos de yeso reforzado con fibras cortas de PP orientados aleatoriamente.) [32]

El yeso dada su gran aplicación en gran variedad de materiales, como paneles de pared, tableros, etc., y gracias a su facilidad de colocación, ligereza, precio y su comportamiento, está teniendo gran uso en la construcción.

Es un material quebradizo, de estructura porosa y bajo módulo de elasticidad, es muy dado al agrietamiento con lo que tiene un comportamiento a tracción muy bajo.

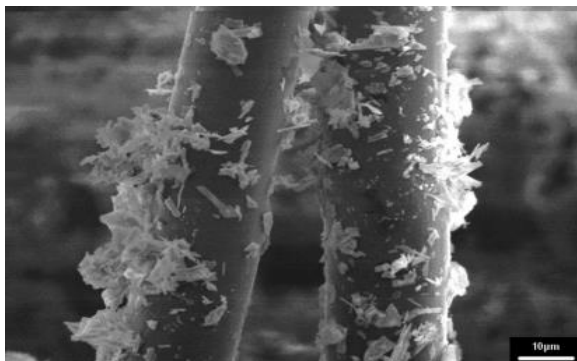
El estudio pretende investigar sus propiedades en los materiales y cómo mejorar su comportamiento mecánico. Según el citado artículo los investigadores analizaron cómo mejorar su resistencia a la tracción reforzada con fibras.

Con el objetivo de producir materiales mucho más seguros, se estudia la resistencia a tracción de compuestos de yeso con diferentes concentraciones de adición de las fibras de polipropileno (PP) introduciendo fibras cortas en la matriz de yeso, con la finalidad de aumentar su resistencia a la tracción.

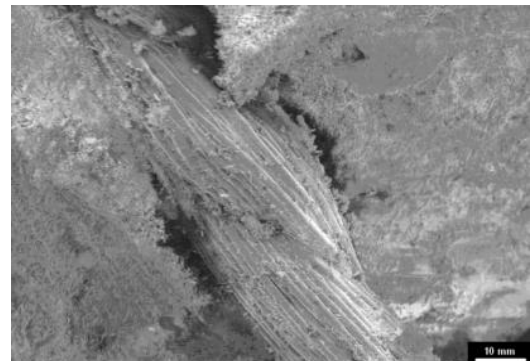
La principal función de las fibras es actuar como elementos conectores en el plano de la fisura y limitar su grieta, del mismo modo que ocurre en el hormigón armado, en el que el acero corrugado actúa como elemento de unión en el hormigón, ya que éste de por sí mismo se comporta mal a la tracción.

Una adecuada adhesión con el yeso supone una transferencia de carga más eficiente desde la matriz a la fibra. Este artículo analiza de forma experimental el comportamiento de la unión de las fibras cortas con el yeso y su efecto en la resistencia a tracción.

Aplicándoles cargas, podemos ver imágenes de microscopía en la que se puede apreciar como las fibras de PP, contienen gran número de cristales de yeso, que confirman una excelente compatibilidad de ambos materiales. Esto es fundamental para una buena fuerza de unión entre las fibras de PP y el yeso.



[Imagen 8]: Imagen de microscopía de la fibra en la matriz de yeso. FUENTE: <https://doi.org/10.1016/J.COMMATSCI.2010.12.020>

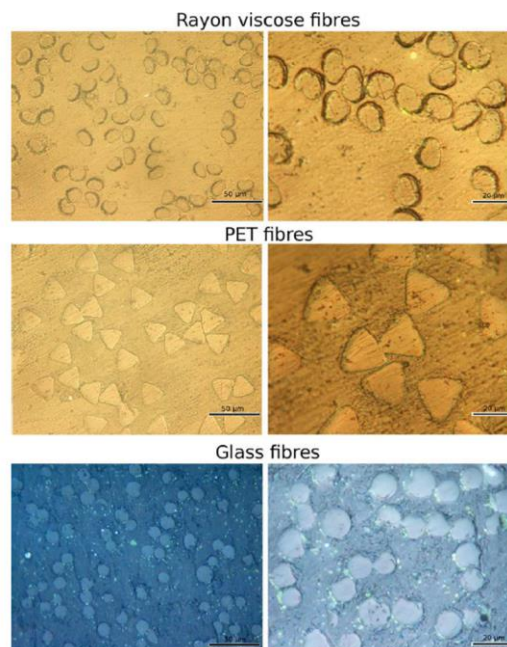


[Imagen 9]: La superficie de las fibras de PP. FUENTE: <https://doi.org/10.1016/J.COMMATSCI.2010.12.020>

Por tanto, gracias a la gran fuerza de unión de las fibras con el yeso, se produce una mayor cantidad de tensión donde las fibras se disponen en la matriz, obteniendo una mayor resistencia al crecimiento de una grieta, es decir, disminuye la tenacidad a la fractura, llegando a la conclusión de que mejora de manera sustancial la resistencia a la tracción.

3. Short-fibre hybrid polypropylene composites reinforced with PET and Rayon fibres – Effects of SSP and interphase tailoring. Franciszczak, P., Merijs-Meri, R., Kalniņš, K., Błędzki, A. K., & Zicans, J. (2017). *Composite Structures*, 181, 121–137. (Compuestos híbridos de polipropileno de fibra corta reforzados con fibras de PET y rayón: efectos de SSP y adaptación de interfase.) [33]

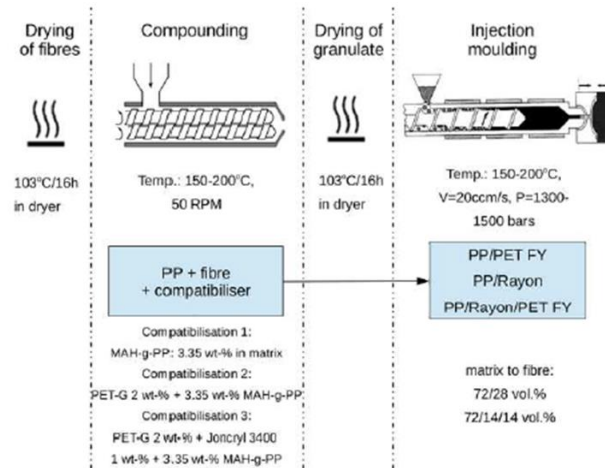
En este estudio se refuerza una matriz de polipropileno (PP) con fibras artificiales de celulosa (Rayón) y politereftalato (PET). La geometría de los filamentos de fibras de PET tiene un área de sección transversal casi el doble que las fibras de rayón o de vidrio, por eso son más estables, por lo que se usan estas fibras como matriz a la cual se le incorporan los otros componentes.



[Imagen 10]: Imágenes de secciones transversales de rayón viscosa, PET y fibra de vidrio en magnitudes 500 y 1000. FUENTE: <https://doi.org/10.1016/J.COMPSTRUCT.2017.08.075>

Se usó como matriz el moldeo por inyección de PP, la fibra celulosa artificial de viscosa de rayón (cortada en piezas de 2 mm de longitud), hilo de fibra de PET (cortado en piezas de 2 mm de longitud) y "se aplicó una cera de PP injertada como compatibilizador entre una matriz no polar y polímeros de fibra polar" (se aplicó al 3,35% en peso respecto a la matriz).

El objetivo principal era desarrollar métodos de preparación de estos compuestos para que se pudiese comprobar tanto la estabilidad térmica como las propiedades a tracción de los hilos de fibras. Se han realizado tres métodos de compatibilización entre los materiales para la adaptación de la interfase fibra-matriz y la cristalinidad de la fibra PET.



[Imagen 11]: Proceso de producción de composites de PP de fibra corta. FUENTE: <https://doi.org/10.1016/J.COMPSTRUCT.2017.08.075>

Los métodos de compatibilización propuestos dieron como resultado diferentes propiedades de impacto de los compuestos, por ejemplo, en el segundo método se mejoró la resistencia en un 15% con respecto al primero, debido a que los volúmenes de fibra eran similares, las propiedades de la fibra no cambiaron y se mejoró la miscibilidad del PET con la matriz de PP.

| Fibra | ANIMAL DOMESTICO AÑO FISCAL 2016 | | ANIMAL DOMESTICO AÑO FISCAL 2016 | | Cordenka 610F Súper 2 | E-vidrio[17] |
|--|--|----------------|----------------------------------|-------|--|--------------------|
| Nombre químico | Polietileno tereftalato | | SSP Polietileno tereftalato | | Rayón Viscosa | Dióxido de silicio |
| Densidad [g/ccm] con SD | 1.400 ¹ 1.413 ² | 0.005 0.002 | 1.432 | 0.001 | 1.630 ¹ 0.003 | 2.5-2.6 |
| Cristalinidad [%] con SD | 62.42 ¹ 75.17 ² | 4.34 2.12 | 92.62 | 0.78 | no evaluado | amorfo |
| Dtex [g/10 km] | 341.1 ¹ | | 379 ¹ | | 1682 ¹ (1840) ² | - |
| Equivalente del diámetro circular del filamento calculado a partir del hilo dtex [yom] | 17.98 ³ | | 18.73 ³ | | 11.46 ³ | - |
| Resistencia a la tracción [Mpa] con SD | 469 ¹ 462 ² 501 ³ | 25 33 - | 181 ¹ | 18 | 629 ¹ 617 ² 779 ³ | 36 31 - |
| Módulo E [GPa] con SD | 10.2 ¹ 10.2 ² | 0.9 1.0 | 7.4 ¹ | 0.9 | 13.1 ¹ 13.0 ² | 1.5 3.9 |
| Alargamiento a la rotura [%] con SD | 29.5 ¹ 42.2 ² | 0.9 4.2 | 8.7 ¹ | 1.3 | 12.1 ¹ 14.0 ² | 0.7 1.03 |
| Contenido de acabado de hilado de hilo crudo [%] | 30.4 ³ 0.89 ³ | | - | | 12.6 ³ - 0.4 ³ | - |

¹Fibra cruda.
²Fibra después del templado.
³Según hoja de datos/calculado a partir de hoja de datos.

[Figura 5]: Propiedades del PET antes y después de las fibras SSP, Viscosa Rayón y E-Glass. FUENTE: <https://doi.org/10.1016/J.COMPSTRUCT.2017.08.075>

Gracias a este estudio podemos concluir que estas fibras combinadas de tres maneras distintas nos dan tanto resultados positivos como negativos, por ejemplo, la resistencia a flexión es menor en algunos casos, pero se reduce notablemente el peso del material. Por lo que nos da una idea de cómo podemos procesar los distintos componentes para obtener los resultados necesarios en cada caso.

4. Materiales compuestos de matriz poliéster reforzados con fibras naturales y sintéticas.

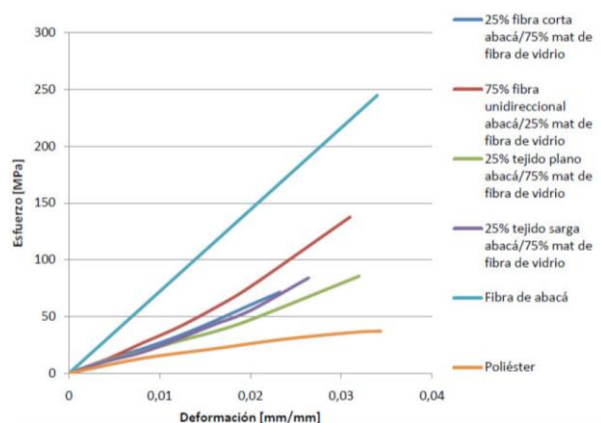
Congreso de Ciencia y Tecnología ESPE, 8(1), 70–74. Guerrero, V. H., Pontón, P., Tamayo, A., Villacís, H., Delgado, F., & Galeas, S. (2013). [34]

Con el fin de probar cómo trabaja una matriz termoestable de poliéster, a la que se le añaden materiales naturales (fibras) y sintéticos, se realiza este estudio llevado a cabo por la Escuela Politécnica Nacional de Quito, Ecuador.

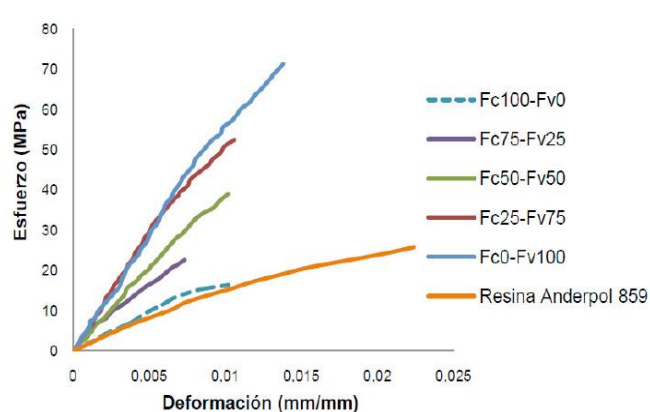
Las probetas de matriz termoestable se forman mediante una resina de poliéster insaturada, al igual que la que se puede encontrar en las bayetas llevadas a cabo en el estudio de este trabajo de fin de grado. La diferencia es que en este estudio la resina se encuentra de manera individual y se le añaden distintos elementos en el proceso, mientras que en nuestro caso de estudio el poliéster se mezcla al rayón junto con el polipropileno.

Las probetas donde se realiza el estudio son de carácter similar a las del laboratorio de la universidad, pero de menor tamaño (25x25x250mm Politécnica - 40x40x160mm Etsa). A continuación, se procede a mezclar la resina de poliéster con fibras naturales únicamente, y por otro lado con fibras naturales y sintéticas al mismo tiempo, que en este caso en fibra de vidrio. El corte de estas fibras varía al igual que la cantidad de adhesión que se realiza en cada probeta y cada tipo.

Como se observa en las gráficas presentadas más abajo, el poliéster por sí solo trabaja mal a cualquier tipo de esfuerzo. Cuando se le añaden fibras naturales, únicamente, la deformación se mantiene estable, pero el esfuerzo realizado (Mpa) sí que aumenta considerablemente. Cabe destacar que cuando mejor trabaja el poliéster es cuando se le añaden las fibras sintéticas y que a mayor porcentaje de estas, mejores resultados se presentan. También se puede observar que lo único que se mantiene estable en las diferentes pruebas es la resina, mientras que la respuesta al esfuerzo varía de manera dependiendo de la fibra natural.



[Gráfica 7]: Curva esfuerzo vs. deformación de materiales compuestos matriz de poliéster reforzados con fibra de abacá y fibra de vidrio.
FUENTE: <https://doi.org/10.24133/CCTESPE.V8I1.112>



[Gráfica 8]: Curva esfuerzo vs. deformación de materiales compuestos matriz poliéster reforzados con fibra de coco y fibra de vidrio.
FUENTE: <https://doi.org/10.24133/CCTESPE.V8I1.112>

Con esto podemos concluir que la resina poliéster por sí sola no tiene unas capacidades llamativas, pero si se le añaden fibras, ya sean naturales o sintéticas, las resistencias aumentan y la deformación disminuye. Por lo tanto, se puede afirmar que el poliéster no es un material favorable para ser la base de ningún compuesto, pero sí que gana mucha importancia cuando se le mezcla con otros tipos de materiales, más concretamente los sintéticos como los que conforman las bayetas.

3. OBJETIVOS

Los residuos urbanos, en especial los plásticos, son una de las principales causas del cambio climático, debido a la contaminación de mares, ríos y acuíferos, la desertización y otros problemas medioambientales a causa o de la producción de los materiales que luego se convierten en los residuos, o por la mala gestión de ellos.

Por ello es necesario hacer conciencia y darles una segunda vida a aquellos elementos que no se pueden reciclar, así pues, proponemos dar un segundo uso a estos compuestos en el campo de la construcción.

3.1. Objetivos generales*

Entre los objetivos globales que vamos a tratar, destacamos:

- Realizar un estudio de estos nuevos materiales para la construcción a partir de residuos plásticos reciclados para concienciar sobre el problema de acumulación existente.
- Elaboración de un proceso experimental para el desarrollo del nuevo producto a partir de una hipótesis inicial.
- Aplicación del material reciclado a un caso práctico en el campo de la construcción para mejorar las cualidades del yeso.
- Realización de una comparativa de nuestro producto con productos comerciales, en cuanto a las mejoras económicas, mecánicas, acústicas y medioambientales.

3.2. Objetivos específicos*

Profundizando en el material reciclado y tras los estudios experimentales, destacamos los siguientes objetivos:

- Prolongar la vida útil de algunos plásticos que son difíciles de reciclar o reutilizar.
- Investigación con respecto al Rayón, al Poliéster y al Polipropileno que componen las bayetas.
- Analizar el comportamiento del material al aplicar diferentes porcentajes de aditivos a la mezcla con el yeso.
- Clasificar nuestro material sometiéndose a ensayos de resistencia mecánica, explicando las mejoras que conlleva con respecto al producto original.
- Concluir en aplicaciones en productos de construcción ya existentes acorde a los resultados obtenidos.
- Buscar la mejor manera de contribuir al ámbito de la arquitectura, apoyándonos en las ventajas físicas y mecánicas que presenta el material.
- Buscar el mayor beneficio medioambiental mientras mejoramos la calidad arquitectónica.

4. HIPÓTESIS DE PARTIDA

Tras una búsqueda y recopilación de datos del estado de la cuestión que atañe a nuestro producto, mediante el análisis de distintos estudios que hemos usado de referencia, guiándonos por resultados mecánicos, comportamiento térmico y acústico principalmente, hemos obtenido los siguientes puntos de partida para nuestra hipótesis.

Para el ensayo mecánico, contaremos con la elaboración de diferentes probetas para su investigación, analizando su desarrollo y los resultados hasta llevarlo a la incorporación en el diseño del producto y aplicación en un caso práctico.

El material de adición, que proviene del reciclado de las bayetas de microfibra, se ha incorporado en 3 porcentajes para ver su comportamiento. El residuo se ha dispuesto en cuadrados de 0,6 mm de lado aproximadamente para favorecer así la homogeneidad en las probetas y evitar que se produzcan zonas heterogéneas.

Tras la elaboración de todos los moldes, en las condiciones descritas en el desarrollo de la metodología de trabajo, examinaremos y analizaremos los datos obtenidos, siguiendo la normativa UNE-EN ISO 1015-11, en función de sus características mecánicas.

5. METODOLOGÍA DE TRABAJO

Para llevar a cabo el correcto desarrollo de este estudio hemos realizado una exhaustiva investigación sobre el material a reciclar, con especial hincapié en los diferentes materiales que lo componen: el Rayón, el Poliéster y el Polipropileno, indagando en las propiedades de cada plástico, el proceso de producción, la problemática medioambiental y en su posible reciclaje.

Se realizaron una serie de procesos centrados en la investigación y el desarrollo de un nuevo prototipo de producto con mejoras en las características, explicados a continuación:

1. Búsqueda de información para adquirir conocimientos de los componentes de nuestro material de estudio.
2. Investigación de estudios anteriores realizados con los distintos componentes de nuestro material, para darnos una idea del posible comportamiento de nuestro prototipo.
3. Elaboración del estudio experimental en el laboratorio, con la realización de probetas y ensayos.
4. Recopilación de los resultados obtenidos en la fase experimental, donde se refleje la mejora de las características con la aplicación del producto de estudio.
5. Aplicación del producto a un caso práctico.
6. Análisis final y conclusiones.

6. PLANEAMIENTO EXPERIMENTAL

6.1. Introducción a la metodología y a la normativa de aplicación*

En esta etapa desarrollaremos el ensayo experimental para estudiar nuestro producto y así obtener diferentes resultados para su valoración.

Procederemos según las directrices metodológicas que especificaremos seguidamente:

En el caso de la preparación de las probetas, tanto de acústico como mecánico, actuaremos según la norma UNE:

En dicho ensayo utilizaremos la norma UNE-EN ISO 1015-11 y UNE EN-196:2018, donde obtendremos su resistencia a compresión y a flexión.

6.2. Elaboración y dosificación de las probetas*

En los siguientes ensayos constituiremos las distintas probetas para su estudio y definiremos su dimensiones, dosificaciones y composición.

Material de adición:

- Bayeta de limpieza: Multiusos marca Bosque Verde
- Composición: La bayeta utilizada como residuo está compuesta específicamente por los siguientes materiales en esta proporción:
 - Rayón: 70%
 - Poliéster: 15%
 - Polipropileno: 15%

- Morfología

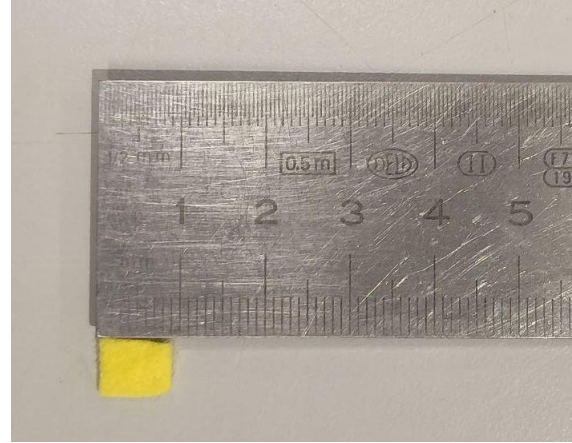
Para la preparación del material, de cara a introducirlo en las probetas, se optó por el corte en cuadrados lo más uniformes posible. Esta forma de corte se realizó de esta manera porque se consideró que el residuo se repartiría de forma más homogénea y sencilla, evitando así aglomeración y mal reparto del mismo.

Para la correcta caracterización del residuo procedimos a un tamizado de 74,82 gr de residuo con unos tamices de los siguientes grosores, los cuales nos arrojaron unos determinados porcentajes:

- >8 mm: 10,17 gr, lo que supone el 13,6%
- 8mm > x >6,5 mm: 53,66 gr, lo que supone el 71,72%
- 6,5mm > x >4 mm: 10,79 gr, lo que supone el 14,42%
- <4mm: 0,2 gr, lo que supone el 0,26%



[Imagen 12]: Tamizando las muestras ya cortadas. EP



[Imagen 13]: Medición de muestra aleatoria de bayeta. EP

- Preparación del yeso para los ensayos mecánicos.

A la hora de realizar las probetas, se utilizaron los siguientes materiales, con sus correspondientes pesos:

- Yeso
- Proporción agua/yeso: 0.55%
- Masa de la probeta: 320 gr
- Dimensiones probetas 40x40x160 mm

Para su caracterización estableceremos 3 porcentajes distintos del material teniendo en cuenta su relación con el peso máximo del yeso.

Muestra 1: 1 % material de adición

N.º Probetas: 6
 Designación: Y/B/1%
 Masa adición: $320 \times 0.01 = 3 \text{ gr}$
 Masa Yeso: $320 - 3.2 = 316.80 \text{ gr}$
 Masa Agua: $316.80 \times 0.55 = 174,24 \text{ gr}$

Muestra 2: 1,5 % material de adición

N.º Probetas: 6
 Designación: Y/B/1.5%
 Masa adición: $320 \times 0.015 = 4.8 \text{ gr}$
 Masa Yeso: $320 - 3.2 = 315.20 \text{ gr}$
 Masa Agua: $315.20 \times 0.55 = 173.36 \text{ gr}$

Muestra 3: 2 % material de adición

Nº Probetas: 6
 Designación: Y/B/2%
 Masa adición: $320 \times 0.02 = 6.4 \text{ gr}$
 Masa Yeso: $320 - 6.4 = 313.60 \text{ gr}$

Masa Agua: $313.60 \times 0.55 = 172.48$ gr

La elaboración de las probetas para su ensayo se llevó a cabo el 2 de marzo del 2022, en el Laboratorio de Construcción de la Escuela Técnica Superior Arquitectura, por los 4 miembros del grupo junto a D^o. Paloma Rubio y ayudantes del laboratorio que nos supervisaron y ayudaron en todo momento al buen desarrollo de esta.

- **Absorción**

Para conocer la capacidad de absorción que tiene nuestro residuo, en primer lugar, procedimos al pesaje de una cantidad determinada de material en seco. A continuación, saturamos con agua, para saber así cuántos gramos de agua era capaz de absorber cada gramo en seco. Obtuvimos que 5,00 gr de residuo seco aumentaba su peso hasta 48.26 gr, por lo que obtenemos que 1 gr de residuo seco es capaz de absorber 9,65 gr de agua. Todo este proceso se realizó sin seguir la normativa pertinente debido a la falta de elementos y tiempo.



[Imagen 14]: Bayeta cortada en un recipiente con agua. EP

-**Realización de las probetas del ensayo mecánico:**

Pasos previos:

Nos dotamos en el laboratorio del equipamiento obligatorio de guantes y bata blanca. Tras las indicaciones por parte del personal del laboratorio, y facilitarnos el material, procedimos a la aplicación, con brocha, del desencofrante a las diferentes probetas para facilitar su extracción posteriormente.



[Imagen 15]: Aplicación del desencofrante en los moldes de probetas. EP

A continuación, recopilamos las dosificaciones del material que queríamos añadir a nuestras probetas siguiendo el porcentaje mencionado anteriormente. Con la finalidad de asegurar el correcto desarrollo de ensayo comenzamos preparando la de mayor porcentaje de dosificación, para así asegurarnos que el material, en relación con su peso, fuese admitido en la probeta consiguiendo una mezcla homogénea sin que llegase a producirse una heterogénea, ya que esto podría repercutir negativamente en la prueba.

Por tanto, procedemos del siguiente modo:

Rellenamos un molde de la probeta completamente con el material de adicción hasta arriba. Pesamos la cantidad que admitía en la balanza de precisión y el valor que obtuvimos era de 20.96 gramos.

Si dividimos el peso máximo que admite la probeta entre el peso máximo que admite el molde de 320 gr, el resultado del cociente lo multiplicamos por cien para obtener el resultado en porcentaje. Dicho porcentaje 6.55 % nos expresa el máximo de material que podríamos añadir en relación al máximo de yeso admitido en la probeta.

Tenemos que tener en cuenta, que el 6.55% supone la máxima dosificación del material que podríamos añadirle a la mezcla con yeso, lo que supone que no haya yeso en la probeta. Por ello, tras valorar la información establecemos que elegiremos la dosificación del 2 %, 1.5 % y el 1%, realizándose en 6 probetas facilitadas por el laboratorio para desarrollar el ensayo mecánico de los porcentajes mencionados con anterioridad.

Por todo ello, la correspondencia de los porcentajes en masa es la siguiente:

- 2% de material: $320\text{gr} \times 0.02 = 6.4 \text{ gr}$
- 1.5 % de material: $320 \times 0.015 = 4.8 \text{ gr}$
- 1% de material: $320 \times 0.01 = 3.2 \text{ gr}$

Después de repasar las masas correspondientes, procedimos al pesaje de cada uno de los porcentajes, primero el 2 %, mediante el uso de la balanza de precisión. Dispusimos cada uno de los pesajes en distintos tarros de aluminio para tenerlos preparados una vez llegado el momento de mezclarlo.

Comenzamos con la preparación del 2% correspondiente a 6.4 gr de material por muestra y calculando el material para 6 muestras, procediendo a su pesaje y a humedecer los trozos. Esto se debe a que nos aconsejaron por parte del personal del laboratorio hacerlo debido a su poder de absorción. De no hacerlo podría afectar al fraguado de la mezcla, evitando que la propia bayeta absorba el agua perteneciente a la relación de mezcla de yeso y agua (0.55%), y no afectado así al proceso de fraguado.

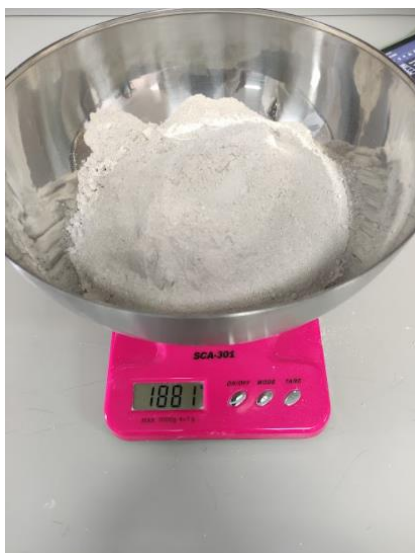


[Imagen 16]: Pesaje de las muestras en seco. EP



[Imagen 17]: Vertido de agua en las muestras para humedecerlas. EP

Hicimos pesaje del yeso y agua manteniendo la proporción de agua-yeso al 0.55 % y teniéndolo en distintos recipientes de aluminio.



[Imagen 18]: Pesaje de la cantidad de yeso que se añadirá. EP



[Imagen 19]: Pesaje de la cantidad de agua que se añadirá. EP

Tras tener humedecidas las bayetas las incorporamos directamente al recipiente de yeso en polvo y comenzamos un ligero amasado con el propósito de que no se formen grumos en las muestras. Al mismo tiempo desmenuzamos los trozos de bayeta que se quedarán pegados tras el contacto con el yeso en polvo, por ello insistimos para procurar que la mezcla fuese lo más homogénea posible y evitando así la formación de una mezcla heterogénea.



[Imagen 20]: Mezcla del aditivo con el yeso. EP



[Imagen 21]: Mezcla del aditivo con el yeso. EP

Una vez obtenida la mezcla, lo más homogénea posible, fuimos incorporando el agua necesaria poco a poco al recipiente hasta el completo vaciado de este.



[Imagen 22]: Vertido de agua en la mezcla de yeso con aditivo. EP



[Imagen 23]: Mezcla de agua con yeso y aditivo. EP

En todo momento no dejamos de amasar la mezcla hasta conseguir que el agua se mezcle correctamente con el yeso y trozos de bayeta consiguiendo una masa de consistencia media, uniforme y sin grumos.

Con rapidez vertemos la masa obtenida en los distintos moldes de las probetas, comenzando su llenado, desde la base hasta la mitad, y garantizando que la mezcla llegará a las esquinas del evitando burbujas de aire.



[Imagen 24]: Vertido de la masa obtenida en los moldes. EP



[Imagen 25]: Vertido y relleno completo de los moldes. EP

Llegados a la mitad del molde, realizamos 5 o 6 golpes enérgicos de la probeta con la mesa para eliminar cualquier burbuja de aire y así consiguiendo que durante el proceso de llenado no tuviera zonas sin yeso que pudiesen alterar nuestros valores experimentales. Por tanto, una vez garantizado este paso importante, seguimos rellenando la probeta hasta su llenado completo y repitiendo de nuevo los golpes de la muestra a fin de garantizar el asiento de la mezcla.

Tras el relleno completo de las probetas, pasamos una espátula plana por el contorno superior para aplanar y nivelar la muestra, consiguiendo un enrasado correcto, tal como se aportan en las fotografías siguientes:



[Imagen 26]: Probetas de 1% y 1,5% terminadas sin secar. EP



[Imagen 27]: Probetas control y 2% terminadas sin secar. EP

Todo el proceso realizado en lo relativo a la mezcla del 2%, tras la verificación y comportamiento de las probetas, nos da evidencias del buen desarrollo tanto de la parte del amasado como la

de ejecución en las probetas. Por tanto, nos confirma la buena ejecución del mayor porcentaje y nos ratifica que podemos seguir con el ensayo del resto, como son el 1.5% y 1%.

Además, el personal de laboratorio, mediante el seguimiento realizado, nos afirma el correcto proceder en la formación de las probetas y nos validan el seguir en la misma línea de trabajo para las dosificaciones restantes. En lo perteneciente a los procesos de menor porcentaje, lo realizamos del mismo modo, con la misma exactitud en los procedimientos: técnicas, utensilios e incluso tiempos similares para tratar la mayor homogeneidad de todas las probetas.

La siguiente con la que lo realizamos fue con la del 1.5%, mencionada anteriormente, que reflejaremos nuevamente para dejar claro las cantidades que manejamos en el momento, muy importantes para evitar cualquier error en el proceso.

Adición al 1.5%:

Masa adición: $320 \times 0.015 = 4.8$ gr

Masa Yeso: $320 - 3.2 = 315.20$ gr

Masa Agua: $315.20 \times 0.55 = 173.36$ gr

Una vez terminada la fase de esta dosificación al 1.5 % conseguimos del mismo modo concluir de forma satisfactoria y con la supervisión del personal de laboratorio que nos confirma el buen estado de las probetas. Por tanto, comenzamos de nuevo el proceso para la dosificación al 1% y último para mecánico.

Las cantidades que manejamos con el último porcentaje, muy importante para evitar cualquier error en el proceso, son las siguientes:

Adición al 1%:

Masa adición: $320 \times 0.01 = 3$ gr

Masa Yeso: $320 - 3.2 = 316.80$ gr

Masa Agua: $316.80 \times 0.55 = 174,24$ gr

Una vez realizadas todas las probetas se dejan secando en el laboratorio para poder realizar los estudios mecánicos una vez terminado el tiempo de curado. Este secado se hará mediante el uso de estufas.

7. ANÁLISIS DE DATOS

Procedemos a realizar el análisis de los distintos datos que se han obtenido una vez se han realizado las pruebas pertinentes en las probetas de yeso, transcurrido el tiempo de fraguado de las mismas. Con estos datos se busca estudiar el comportamiento del material en un futuro y en diferentes situaciones.

7.1. Peso

En primer lugar, vamos a procesar los datos obtenidos en el pesaje, de las distintas probetas y adicciones de material.

7.1.1 Procedimiento

Una vez transcurrido el tiempo de fraguado de las probetas, se desmoldan y se pesan hasta en tres ocasiones. El pesaje se realiza con una báscula de precisión, la misma que se indica en el apartado de elaboración de probetas, y los datos se expresan en gr, como bien se indica en la [Tabla 1].

| Nº Probetas | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|-----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Control YT (gr) | 318,92 | 319,63 | 319,08 | 319,67 | 318,64 | 319,96 |
| 1% YT (gr) | 316,33 | 320,29 | 319,58 | 316,43 | 314,79 | 318,97 |
| 1,5% YT (gr) | 315,45 | 314,04 | 314,91 | 314,43 | 315,45 | 317,24 |
| 2% YT (gr) | 315,51 | 317,91 | 319,63 | 324,72 | 326,53 | 326,81 |

[Tabla 1]: Resultados del peso de las probetas. EP

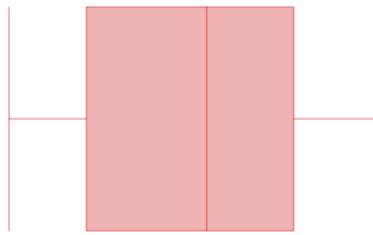
7.1.2 Análisis de resultados

Ya reunidos los datos correspondientes a cada probeta, se realizará un análisis del peso para comprobar si los datos tienen consonancia o hay que descartar alguno ya que se desvía de la media. Y para eso vamos a realizar la media de pesos por porcentajes primero de aditivo.

| Nº Probetas | Media pesos |
|-----------------|-------------|
| Control YT (gr) | 319,32 |
| 1% YT (gr) | 317,73 |
| 1,5% YT (gr) | 315,25 |
| 2% YT (gr) | 321,85 |

[Tabla 2]: Resultados media de los pesos. EP

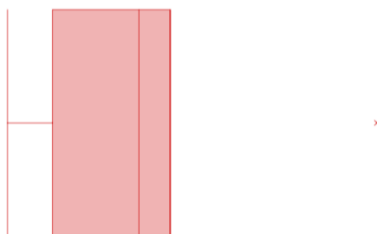
Dicho análisis se realizará mediante diagramas de cajas y bigotes, concentrando las gráficas en los distintos porcentajes de aditivo.

Probeta de control*[Gráfica 09]: Diagrama de bigotes y caja de peso de las probetas control. EP*

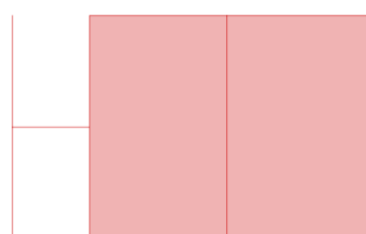
Media= 319,31gr
 Desviación típica= 0,46
 Cv= 0,002

Probeta de 1%*[Gráfica 10]: Diagrama de bigotes y caja de peso de las probetas con porcentaje 1%. EP*

Media= 317,73gr
 Desviación típica= 1,99
 Cv= 0,006

Probeta de 1,5%*[Gráfica 11]: Diagrama de bigotes y caja de peso de las probetas con porcentaje 1,5%. EP*

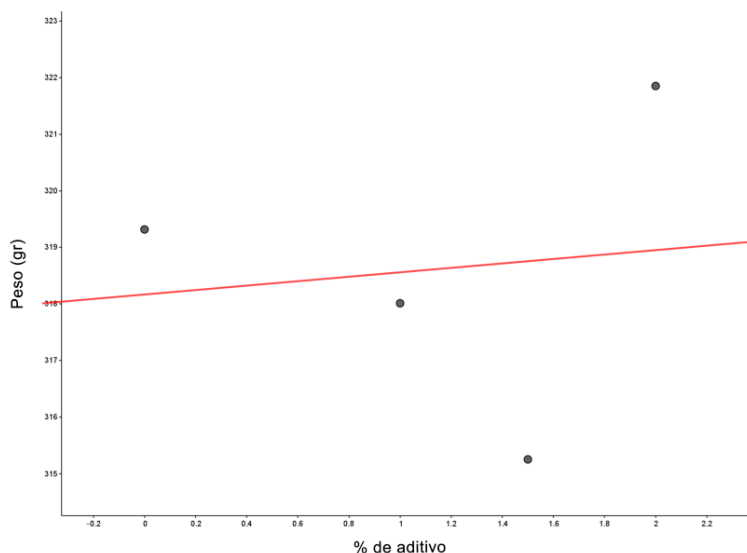
Media= 315,25 gr
 Desviación típica= 1,02
 Cv= 0,003

Probeta de 2%*[Gráfica 12]: Diagrama de bigotes y caja de peso de las probetas con porcentaje 2%. EP*

Media= 321,85 gr
 Desviación típica= 4,38
 Cv= 0,014

Como resultado del estudio de estos diagramas de cajas y bigotes podemos observar que los valores intercuartílicos (Q1-Q3) de los tres primeros ensayos son normales, a diferencia del último caso (gráfica 4) que se observa cómo están cerca del extremo derecho. Esto último demuestra que hay una anomalía en el peso de parte de las probetas realizadas con el 2% de aditivo y, como se advirtió en una medición posterior en laboratorio, se realizaron de manera errónea varias de ellas.

Además, si comparamos las medias de peso de los resultados vemos como no hay una correlación directa entre ellas por lo que se confirma la mala realización de ciertas probetas.



[Gráfica 13]: Análisis de dos variables. Relación media de peso y porcentaje de aditivo. EP

Como conclusión, una vez obtenemos el análisis bidireccional, confirmamos que no existe una relación directa entre los pesos y los porcentajes de aditivo, todo esto debido a la mala realización de alguna de ellas.

7.2 DENSIDAD APARENTE

En segundo lugar, vamos a estudiar la densidad aparente de las probetas y como han afectado a estas los distintos porcentajes de aditivo. Se entiende por densidad aparente el "cociente entre la masa de la materia seca de un cuerpo poroso y su volumen aparente, expresado en gramos por centímetro cúbico; entendiendo el volumen aparente, como la suma de los volúmenes de la materia sólida, los poros abiertos y los poros cerrados dentro de un cuerpo poroso" [24]

7.2.1 Procedimiento

Los datos, los cuales vamos a usar para hallar la densidad aparente, se han sacado directamente de las probetas una vez se ha realizado el secado completo. Por un lado, se llevó a cabo el pesaje de las probetas con ayuda de una balanza de precisión. Por otro, y sabiendo que había un problema con la elaboración de las probetas de yeso, se realizó una medición exhaustiva de las dos partes que conformaban cada una, con un pie de rey. Dicha medición nos demostró que el problema se encontraba en el alto del prisma (lugar por donde quedaba abierto el molde), manteniendo el largo y el ancho originales.

7.2.2 Análisis de resultados

En primer lugar, se tomaron los resultados obtenidos de las mediciones de ambas partes de la probeta, la cual ya había sido rota en los ensayos de flexión, y se realizó la media entre ellas para así obtener la media de la altura y poder hallar el volumen.

| Tipo | Probeta | Canto "A" (mm) | Canto "B" (mm) | Media A y B (mm) |
|------------|---------|----------------|----------------|------------------|
| Control YT | 1 | 40,300 | 40,600 | 40,450 |
| | 2 | 40,400 | 40,700 | 40,550 |
| | 3 | 40,200 | 40,600 | 40,400 |
| | 4 | 41,000 | 40,10 | 40,550 |
| | 5 | 41,000 | 40,100 | 40,550 |
| | 6 | 41,000 | 40,100 | 40,550 |
| 1% YT | 1 | 41,6 | 41,200 | 41,400 |
| | 2 | 41,6 | 41,200 | 41,400 |
| | 3 | 41,4 | 41,100 | 41,250 |
| | 4 | 40,6 | 40,800 | 40,700 |
| | 5 | 40,9 | 40,900 | 40,900 |
| | 6 | 41,1 | 41,100 | 41,100 |
| 1,5% YT | 1 | 41,5 | 41,10 | 41,300 |
| | 2 | 41,2 | 40,70 | 40,950 |
| | 3 | 41,5 | 40,90 | 41,200 |
| | 4 | 40,6 | 40,50 | 40,550 |
| | 5 | 41 | 42,10 | 41,550 |
| | 6 | 40,6 | 41,40 | 41,000 |
| 2% YT | 1 | 43,7 | 43,400 | 43,550 |
| | 2 | 41,7 | 41,300 | 41,500 |
| | 3 | 42,1 | 41,900 | 42,000 |
| | 4 | 43 | 41,600 | 42,300 |
| | 5 | 42,7 | 43,000 | 42,850 |
| | 6 | 44,3 | 43,500 | 43,900 |

[Tabla 3]: Resultados canto final de las probetas. EP

Una vez se halló el canto final de las probetas, procedemos a calcular la densidad aparente en gr/cm³ mediante la fórmula "Densidad = Peso / Volumen".

| Tipo | Probeta | Canto (mm) | Longitud (mm) | Ancho (mm) | Peso (gr) | Densidad P/V (gr/cm ³) |
|------------|---------|------------|---------------|------------|-----------|------------------------------------|
| Control YT | 1 | 40,45 | 160 | 40 | 319,00 | 1,232 |
| | 2 | 40,55 | 160 | 40 | 319,59 | 1,231 |
| | 3 | 40,40 | 160 | 40 | 319,17 | 1,234 |
| | 4 | 40,55 | 160 | 40 | 319,80 | 1,232 |
| | 5 | 40,55 | 160 | 40 | 318,70 | 1,228 |
| | 6 | 40,55 | 160 | 40 | 320,01 | 1,233 |
| 1% YT | 1 | 41,40 | 160 | 40 | 316,24 | 1,194 |
| | 2 | 41,40 | 160 | 40 | 320,44 | 1,209 |
| | 3 | 41,25 | 160 | 40 | 319,69 | 1,211 |
| | 4 | 40,70 | 160 | 40 | 316,52 | 1,215 |
| | 5 | 40,90 | 160 | 40 | 314,89 | 1,203 |
| | 6 | 41,10 | 160 | 40 | 319,07 | 1,213 |
| 1,5% YT | 1 | 41,30 | 160 | 40 | 315,49 | 1,194 |
| | 2 | 40,95 | 160 | 40 | 314,15 | 1,199 |
| | 3 | 41,20 | 160 | 40 | 315,05 | 1,195 |
| | 4 | 40,55 | 160 | 40 | 314,56 | 1,212 |
| | 5 | 41,55 | 160 | 40 | 315,57 | 1,187 |
| | 6 | 41,00 | 160 | 40 | 317,37 | 1,209 |
| 2% YT | 1 | 43,55 | 160 | 40 | 315,61 | 1,132 |
| | 2 | 41,50 | 160 | 40 | 318,02 | 1,197 |
| | 3 | 42,00 | 160 | 40 | 319,74 | 1,190 |
| | 4 | 42,30 | 160 | 40 | 324,84 | 1,200 |
| | 5 | 42,85 | 160 | 40 | 326,52 | 1,191 |
| | 6 | 43,90 | 160 | 40 | 326,81 | 1,163 |

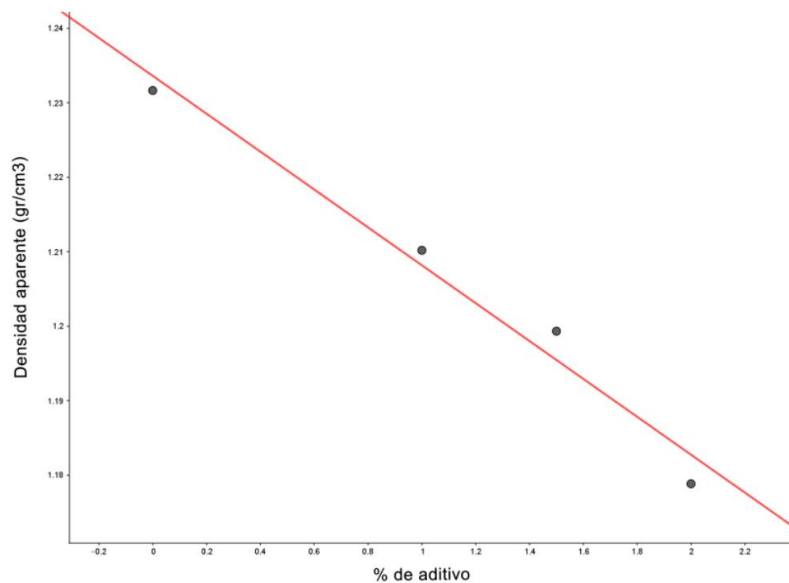
[Tabla 4]: Resultados de la densidad aparente de las probetas de yeso. EP

Una vez se ha obtenido la densidad aparente de cada probeta vamos a calcular la densidad media de cada aditivo para hacernos una idea más clara de cómo evoluciona y se hay alguna relación.

| Nº Probetas | Media Densidad (gr/cm ³) |
|-------------|--------------------------------------|
| Control YT | 1,23 |
| 1% YT | 1,21 |
| 1,5% YT | 1,20 |
| 2% YT | 1,18 |

[Tabla 5]: Resultados media de la densidad por % de aditivo. EP

Para terminar, vamos a ver la relación entre la densidad y el porcentaje de aditivo mediante un análisis bidireccional.



[Gráfica 14]: Análisis de dos variables. Relación media densidad aparente y porcentaje de aditivo. EP

Coefficiente de correlación (r): 0,9883

En conclusión, podemos afirmar que a mayor porcentaje de aditivo menor es la densidad.

ENSAYOS MECÁNICOS

Para terminar el análisis de datos, vamos a estudiar el comportamiento de las probetas, con sus correspondientes porcentajes de aditivo (1-1,5-2%), a la resistencia a flexión y compresión. Dicha comparación se hará cogiendo de referencia la matriz de yeso sin aditivo, y a raíz de esta, comprobar si las resistencias mejoran o, por el contrario, son desfavorables.

Dichos ensayos están supeditados a la Norma UNE EN 13279-2:2014 [25]. Dentro de esta norma nos centramos en la UNE EN-196:2018 "Métodos de ensayos de cementos. Parte 1: Determinación de resistencias mecánicas" [26] la cual expone la forma de proceder ante los ensayos de compresión y flexión.

7.3 RESISTENCIA A FLEXIÓN

En primer lugar, vamos a analizar los datos a flexión obtenidos, para los distintos porcentajes de aditivo, realizados en las probetas de medidas 40x40x160 mm. Como marca la norma UNE, definida anteriormente, se aplica una fuerza simultáneamente en tres puntos distintos de la probeta hasta llevarla a la rotura total.

7.3.1 Procedimiento

El ensayo que se ha realizado, para poder obtener los datos necesarios, se conoce como "Ensayo de tres puntos" y consiste en aplicar una carga de 10t/s a una velocidad 0,5 Mpa/s en tres localizaciones diferentes de la probeta, para que en un intervalo de 30-90 segundos se produzca la rotura [imagen 39], como marca la norma UNE EN-196:2018.

Dicho ensayo ha sido realizado en el laboratorio de Construcciones Arquitectónicas de la ETSA. Con la ayuda de una prensa de ensayo de 300KN, con modelo Codein S.L modelo MCO-30 [imagen 38] y número de serie 139.

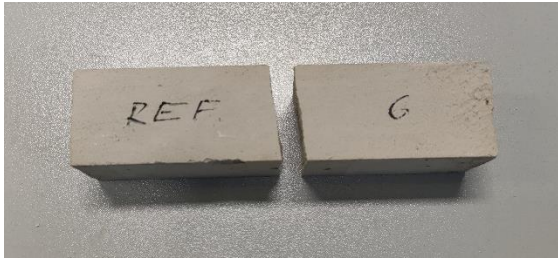


[Imagen 28]: Prensa de ensayo Codein S.L. usada en laboratorio. EP

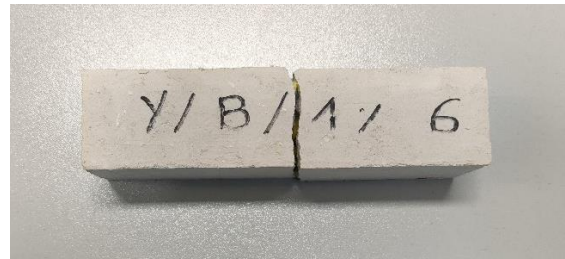


[Imagen 29]: Imagen de las probetas después del ensayo a flexión. EP

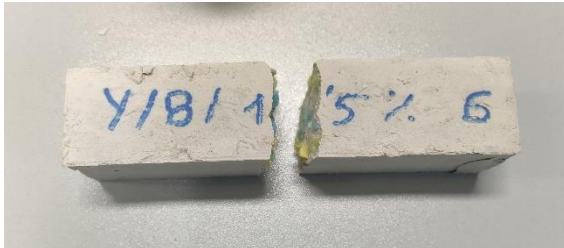
Antes de proceder al ensayo a flexión, las probetas tienen que haber pasado por un periodo de curado y secado mínimo que marca la norma UNE. Dicha norma dice que tienen que haber pasado entre 9-10 días desde la elaboración de estas, así como su secado mediante estufa. Una vez han pasado este proceso, se comprueba que no haya ningún desperfecto, tanto en las probetas como en los materiales que componen la prensa, y se procede a someterlas a la presión por flexión.



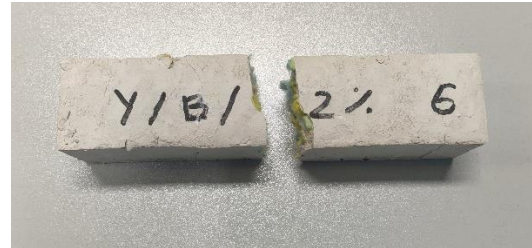
[Imagen 30]: Probeta de control después de ensayo a flexión. EP



[Imagen 31]: Probeta de 1% de aditivo después de ensayo a flexión. EP



[Imagen 32]: Probeta de 1,5% de aditivo después de ensayo a flexión. EP



[Imagen 33]: Probeta de 2% de aditivo después de ensayo a flexión. EP

Una vez se ha realizado el ensayo, las mitades de todas las probetas se ordenan, tanto con su parte correspondiente como por porcentajes de aditivo, y se guardan a la espera de realizar el ensayo a compresión que veremos más adelante.

7.3.2 Análisis de resultados

Lo primero que tenemos que hacer para realizar el análisis de resultados es hallar la flexión final, ya que la necesitamos en N/mm^2 y la tenemos en t/s , y lo haremos según la fórmula:

$$f = (1,5 * (F * 1800 * l / a * b^2))$$

a = altura de la probeta
 F = dato a flexión obtenido

b = ancho de la probeta
 l = longitud entre los apoyos de la prensa

Una vez se ha calculado el valor tensional de cada una de las probetas, procedemos al recopilar los datos y compararlos [tabla 6].

| Tipo | Probeta | Peso (gr) | Densidad (gr/cm ³) | Resistencia a flexión (N/mm ²) |
|------------------------|---------|-----------|--------------------------------|--|
| Sin residuo | 1 | 318,92 | 1,23 | 3,75 |
| | 2 | 319,63 | 1,23 | 4,65 |
| | 3 | 319,08 | 1,23 | 3,65 |
| | 4 | 319,67 | 1,23 | 4,69 |
| | 5 | 318,64 | 1,23 | 4,27 |
| | 6 | 319,96 | 1,23 | 3,87 |
| Aditivo 1% | 1 | 316,33 | 1,19 | 2,98 |
| | 2 | 320,29 | 1,21 | 3,77 |
| | 3 | 319,58 | 1,21 | 3,61 |
| | 4 | 316,43 | 1,22 | 3,68 |
| | 5 | 314,79 | 1,20 | 3,91 |
| | 6 | 318,97 | 1,21 | 3,55 |
| Aditivo 1,5% | 1 | 315,45 | 1,19 | 3,56 |
| | 2 | 314,04 | 1,20 | 4,12 |
| | 3 | 314,91 | 1,19 | 3,88 |
| | 4 | 314,43 | 1,21 | 4,60 |
| | 5 | 315,45 | 1,19 | 3,58 |
| | 6 | 317,24 | 1,21 | 3,50 |
| Residuo tipo 3 YIB/ 2% | 1 | 315,51 | 1,13 | 3,33 |
| | 2 | 317,91 | 1,20 | 3,56 |
| | 3 | 319,63 | 1,19 | 3,58 |
| | 4 | 324,72 | 1,20 | 3,64 |
| | 5 | 326,53 | 1,19 | 3,30 |
| | 6 | 326,81 | 1,16 | 2,96 |

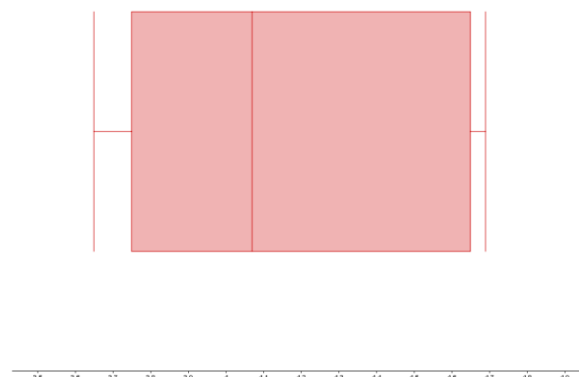
[Tabla 6]: Resultados de la resistencia a flexión obtenida para cada % de aditivo. EP

Análisis unidireccional

Procedemos a realizar un análisis unidireccional de todas las probetas para confirmar que todas se han realizado correctamente, o por el contrario, hay alguna que conviene descartar por su errónea fabricación.

Probetas sin aditivo (0%):

| | |
|--------------|----------|
| n | 6 |
| Media | 4.1467 |
| σ | 0.4172 |
| s | 0.457 |
| Σx | 24.88 |
| Σx^2 | 104.2134 |
| Mín | 3.65 |
| Q1 | 3.75 |
| Mediana | 4.07 |
| Q3 | 4.65 |
| Máx | 4.69 |



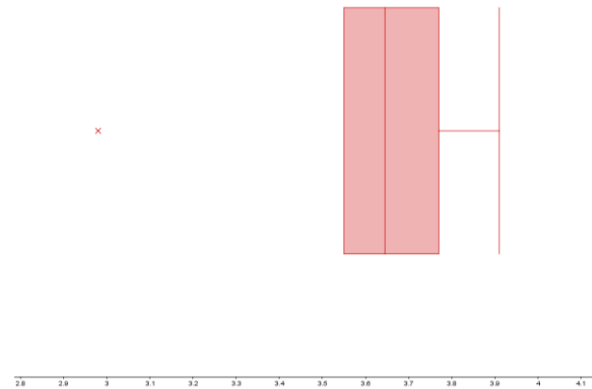
[Gráfica 15]: Diagrama de bigotes y caja de flexión de las probetas de control. EP

El diagrama de bigotes y caja, de las probetas sin aditivo, indica que el valor intercuartílico (Q1-Q3) se encuentra muy cercano al lado derecho pero el valor Q2 o media está bastante centrado por lo que no se eliminará ningún dato de este porcentaje.

El coeficiente de variación es $Cv=0,1$, por lo que la distribución ha sido homogénea.

Probetas con aditivo (1%):

| | |
|--------------|---------|
| n | 6 |
| Media | 3.5833 |
| σ | 0.2935 |
| s | 0.3215 |
| Σx | 21.5 |
| Σx^2 | 77.5584 |
| Mín | 2.98 |
| Q1 | 3.55 |
| Mediana | 3.645 |
| Q3 | 3.77 |
| Máx | 3.91 |

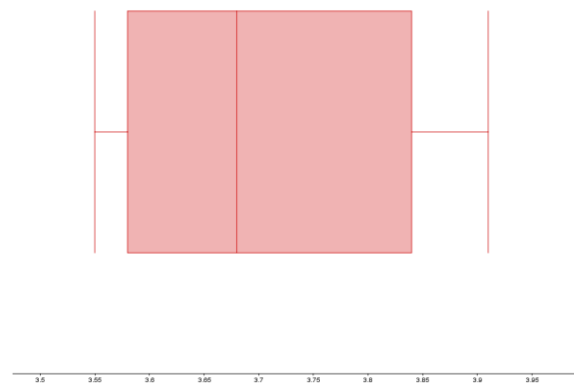


[Gráfica 16]: Diagrama de bigotes y caja de flexión de las probetas con 1% de aditivo. EP

Como se puede observar en el diagrama de caja y bigotes el valor intercuartílico (Q1-Q3) se encuentra muy cercano al lado derecho y en el otro extremo el valor más bajo se sale de rango, por lo que lo vamos a eliminar (probeta 1 de este porcentaje)

El coeficiente de variación es $Cv=0,08$, por lo que la distribución ha sido homogénea.

| | |
|--------------|--------|
| n | 5 |
| Media | 3.704 |
| σ | 0.1264 |
| s | 0.1414 |
| Σx | 18.52 |
| Σx^2 | 68.678 |
| Mín | 3.55 |
| Q1 | 3.58 |
| Mediana | 3.68 |
| Q3 | 3.84 |
| Máx | 3.91 |

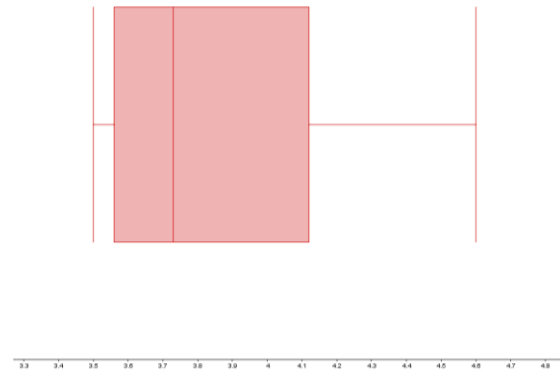


[Gráfica 17]: Diagrama de bigotes y caja de flexión de las probetas con 1% corregida. EP

Como podemos observar, una vez que se ha eliminado el elemento de menor rango, el valor intercuartílico (Q1-Q3) se ha centrado, al igual que su media. También se ha reducido a más de la mitad su desviación típica y su Cv que ahora es $Cv=0,03$. Gracias a este último dato nos quedamos con la media que aparece en la Gráfica 10.

Probetas con aditivo (1,5%):

| | |
|--------------|---------|
| n | 6 |
| Media | 3.8733 |
| σ | 0.39 |
| s | 0.4272 |
| Σx | 23.24 |
| Σx^2 | 90.9288 |
| Mín | 3.5 |
| Q1 | 3.56 |
| Mediana | 3.73 |
| Q3 | 4.12 |
| Máx | 4.6 |



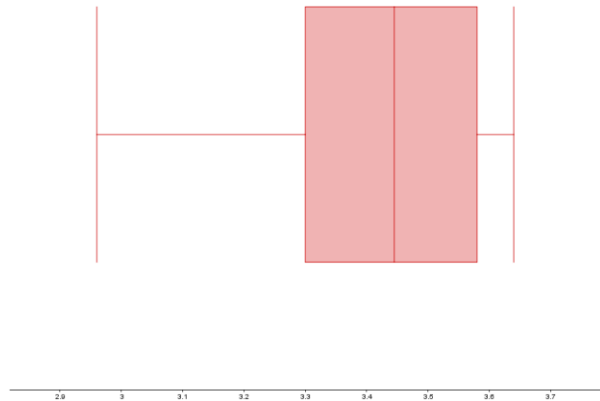
[Gráfica 18]: Diagrama de bigotes y caja de flexión de las probetas con 1,5% de aditivo. EP

El diagrama de bigotes y caja, de las probetas con aditivo 1,5% indica que el valor intercuartílico (Q1-Q3) se encuentra muy cercano al lado izquierdo, pero no se eliminará ningún valor ya que no se salen de rango.

El coeficiente de variación es $Cv=0,1$, por lo que la distribución ha sido homogénea.

Probetas con aditivo (2%):

| | |
|--------------|---------|
| n | 6 |
| Media | 3.395 |
| σ | 0.2324 |
| s | 0.2545 |
| Σx | 20.37 |
| Σx^2 | 69.4801 |
| Mín | 2.96 |
| Q1 | 3.3 |
| Mediana | 3.445 |
| Q3 | 3.58 |
| Máx | 3.64 |



[Gráfica 19]: Diagrama de bigotes y caja de flexión de las probetas con 2% de aditivo. EP

El diagrama de bigotes y caja, de las probetas sin aditivo, indica que el valor intercuartílico (Q1-Q3) se encuentra muy cercano al lado derecho pero el valor Q2 o media está bastante centrado por lo que no se eliminará ningún dato de este porcentaje.

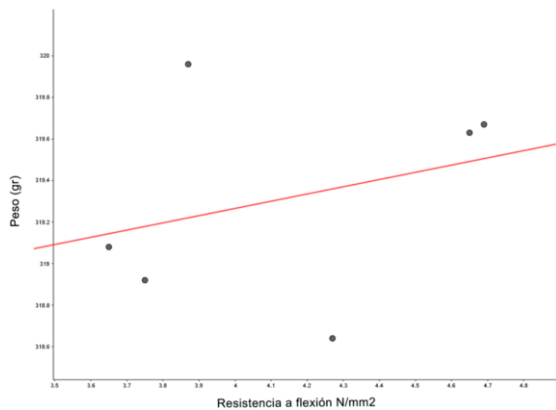
El coeficiente de variación es $Cv=0,06$, por lo que la distribución ha sido homogénea.

Análisis bidireccional

A continuación, vamos a realizar un análisis comparativo entre la resistencia a flexión de cada tipo de probeta con el resto de datos que hemos obtenido anteriormente como son el peso y la densidad.

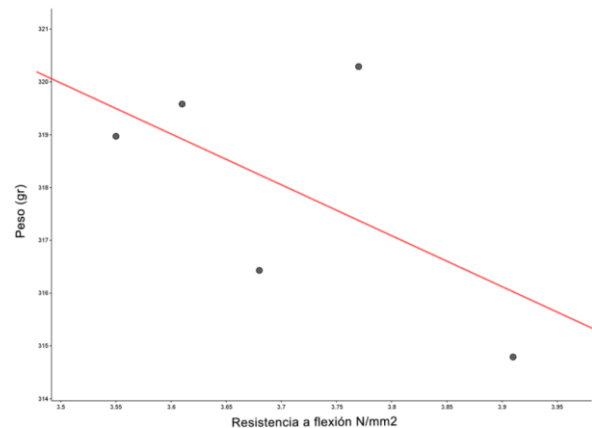
Análisis bidireccional peso/flexión

Vamos a comenzar con la comparación entre el peso y la flexión, y para eso vamos a realizar el cotejo por porcentajes de aditivos, comprobando la posible relación existente. Para confirmar esta semejanza nos fijaremos en el factor de correlación “r”.



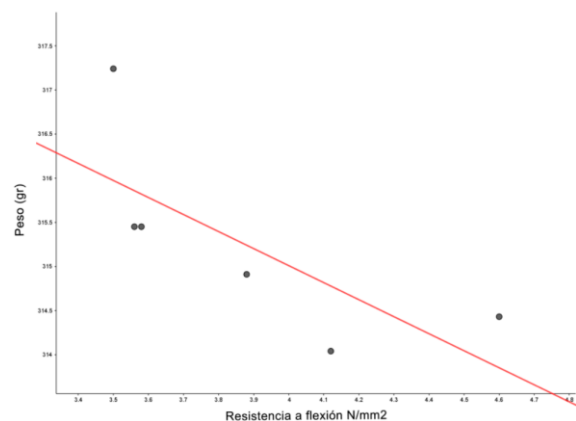
[Gráfica 20]: Análisis de dos variables. Relación peso-flexión probetas control (0%). EP

Factor de correlación $r = 0,3107$



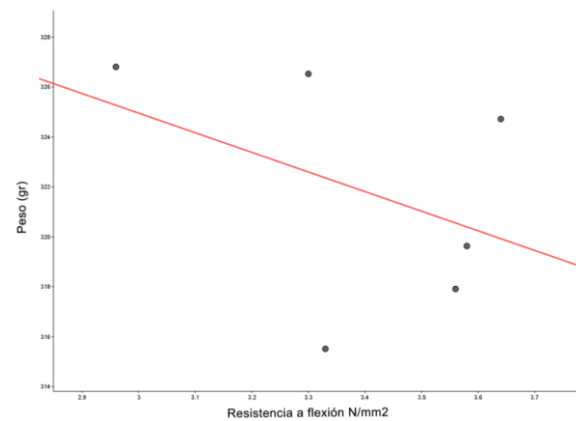
[Gráfica 21]: Análisis de dos variables. Relación peso-flexión probetas con aditivo (1%). EP

Factor de correlación $r = 0,5884$



[Gráfica 22]: Análisis de dos variables. Relación peso-flexión probetas con aditivo (1,5%). EP

Factor de correlación $r = 0,7349$



[Gráfica 23]: Análisis de dos variables. Relación peso-flexión probetas con aditivo (2%). EP

Factor de correlación $r = 0,4167$

Como podemos observar en las cuatro gráficas presentadas anteriormente, no hay un patrón claro que seguir o una relación marcada entre el peso y la flexión.

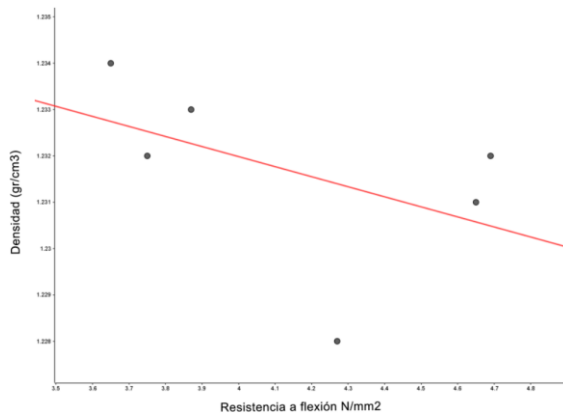
En las probetas de control el factor de correlación es muy bajo, lo cual indica que no existe ninguna relación. Esta afirmación tiene bastante sentido ya que este grupo carece de aditivo que es lo que, en teoría, da esa resistencia.

En el resto de gráficas el factor de correlación mejora, pero no lo suficiente como para determinar una semejanza entre ellas.

Por lo tanto, con estos resultados tan dispares podemos afirmar que no existe una relación directa entre el peso y la flexión en estos casos de estudio.

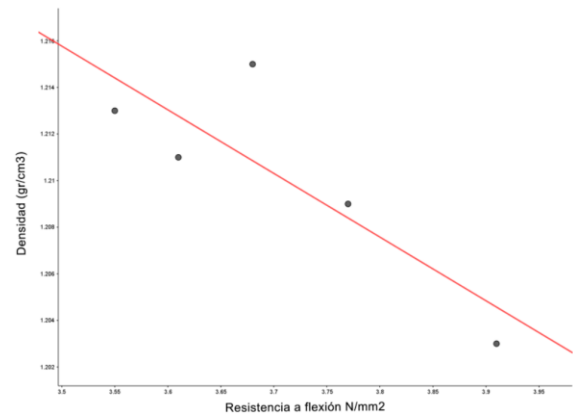
Análisis bidireccional densidad/flexión

Una vez hemos realizado el análisis bidireccional peso-flexión vamos a hacer lo mismo con la comparación densidad-flexión para cada tipo de probetas.



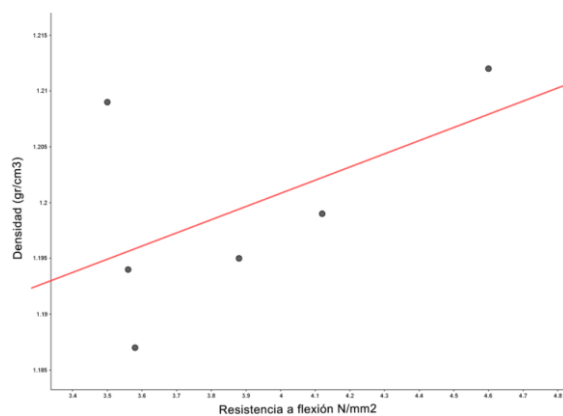
[Gráfica 24]: Análisis de dos variables. Relación densidad-flexión probetas control (0%). EP

Factor de correlación $r = 0,4802$



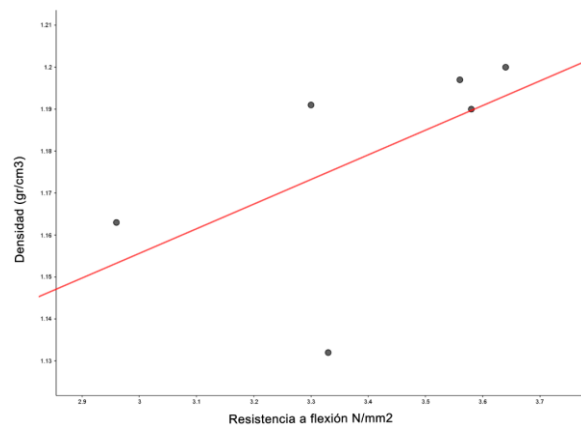
[Gráfica 25]: Análisis de dos variables. Relación densidad-flexión probetas con aditivo (1%). EP

Factor de correlación $r = 0,8389$



[Gráfica 26]: Análisis de dos variables. Relación densidad-flexión probetas con aditivo (1,5%). EP

Factor de correlación $r = 0,5297$



[Gráfica 27]: Análisis de dos variables. Relación densidad-flexión probetas con aditivo (2%). EP

Factor de correlación $r = 0,5654$

Como podemos observar en las cuatro gráficas presentadas anteriormente, no hay un patrón claro que seguir o una relación marcada entre la densidad y la flexión.

En las probetas de control el factor de correlación es muy bajo, lo cual indica que no existe ninguna relación. Esta afirmación tiene bastante sentido ya que este grupo carece de aditivo que es lo que, en teoría, da esa resistencia.

En el resto de gráficas el factor de correlación mejora, pero no lo suficiente como para determinar una semejanza entre ellas. El único caso que se puede destacar es el de las probetas con un 1% de aditivo donde sí que se encuentra un factor más alto

Por lo tanto, con estos resultados tan dispares podemos afirmar que no existe una relación directa entre la densidad y la flexión en estos casos de estudio.

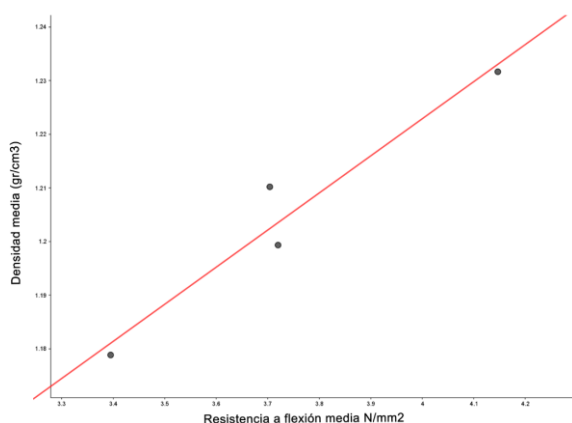
Análisis global densidad/flexión

Vamos a realizar un análisis global entre la densidad y la flexión, cogiendo como referencia las medias de ambos para cada porcentaje de aditivo.

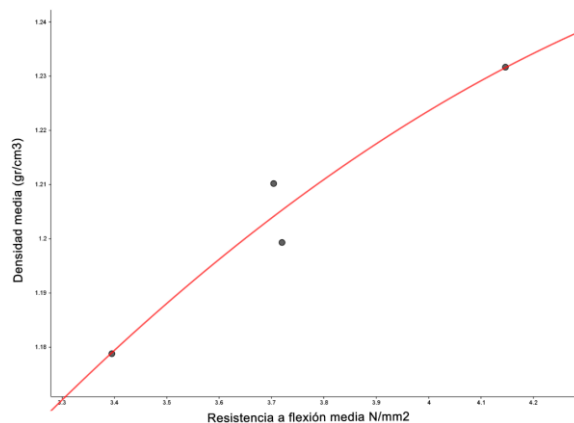
Para ello lo primero que tenemos que hacer es calcular la media a flexión correspondiente a cada porcentaje.

| Nº Probetas | Media flexión (N/mm ²) |
|-------------|------------------------------------|
| Control YT | 4,15 |
| 1% YT | 3,70 |
| 1,5% YT | 3,72 |
| 2% YT | 3,40 |

[Tabla 7]: Resultados media de la flexión por % de aditivo



[Gráfica 28]: Análisis global. Relación densidad-flexión. EP



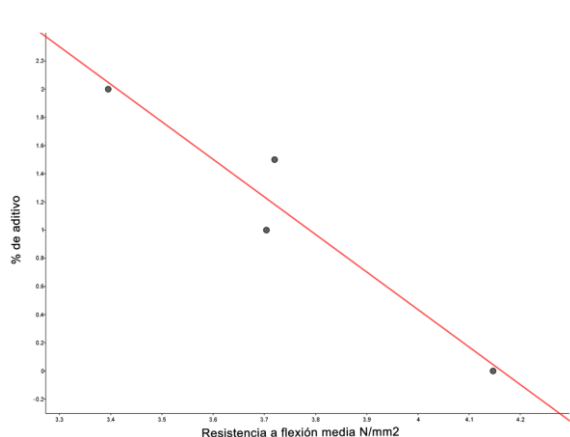
[Gráfica 29]: Análisis global. Relación densidad-flexión (polinomio). EP

Factor de correlación $r = 0,9704$

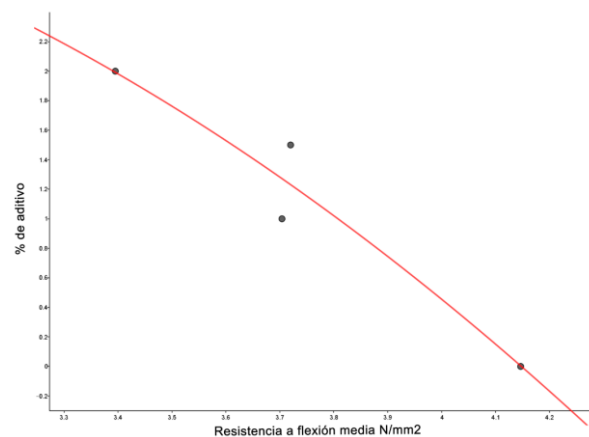
En este caso, se aprecia una clara relación entre la densidad y la flexión. Cuanto mayor es la densidad mayor es la resistencia a flexión, por lo que podemos afirmar que a mayor cantidad de aditivo, menor densidad y por tanto menor resistencia a flexión.

Análisis global %/flexión

Para reforzar la afirmación expuesta en el apartado anterior, vamos a analizar la relación existente entre el % de aditivo y la flexión.



[Gráfica 30]: Análisis global. Relación %-flexión. EP



[Gráfica 31]: Análisis global. Relación %-flexión (polinomio). EP

Factor de correlación $r = 0,9637$

Como podemos observar en las gráficas (Gráficas 23 y 24) existe una relación directa entre la resistencia a flexión y los porcentajes de aditivo que se le han añadido a cada probeta. A mayor porcentaje, menor resistencia. Con esto concluimos que el aditivo no trabaja bien a flexión.

7.4 RESISTENCIA A COMPRESIÓN

Una vez realizados los ensayos de resistencia a flexión en las probetas, como resultado de la rotura se encuentran divididas en dos partes (A y B) [Imagen 39], se procede a realizar el ensayo de resistencia a compresión.

7.4.1 Procedimiento

Este ensayo se realiza en la misma prensa que se realizó el de resistencia a flexión, pero de distinta forma y con otras herramientas. Siguiendo en todo momento lo expresado por la Norma UNE EN-196-1:2018, el primer paso es recoger las muestras resultantes del ensayo a flexión y guardarlas en un desecador. Aunque ya se comprobó para el caso anterior, se tiene que volver a afirmar el correcto secado y la inexistencia de irregularidades de las muestras antes de continuar con la prueba.

La prensa cuenta con dos placas entre las que se colocará la muestra y se comprimirá. Una de estas placas tiene que ser inamovible mientras que la otra permite un pequeño ajuste a la cara de la probeta.

“Los trozos de las probetas se colocan con sus caras laterales hacia arriba y hacia abajo entre los dos platos de acero de la prensa de compresión, de forma que los lados de la probeta que

estuvieron en contacto con las caras del molde estén en contacto con los platos de la prensa en una sección de 40mm x 40mm.

Se permite inclinar el plato superior para establecer un contacto perfecto entre las caras de las probetas y los platos de la prensa." Norma UNE EN-1961:2018 [26]

Como dicta la norma UNE, la fuerza que se aplicará sobre las probetas será de 16 t/s a una velocidad de 0,5 Mpa/s para evitar la rotura antes de que haya transcurrido 1 minuto.

7.4.2 Análisis de resultados

Lo primero que tenemos que hacer para realizar el análisis de resultados es hallar la compresión final, ya que la necesitamos en N/mm² y la tenemos en t/s, y lo haremos según la fórmula:

$$R_c = C * 9800 / b^2$$

R_c= Resistencia a compresión

b= dato a compresión obtenido

b= 40mm x 40mm es el área de la probeta en mm²

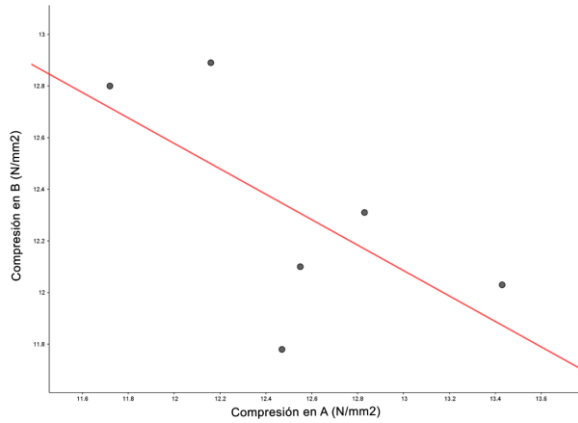
Una vez se ha calculado el valor a compresión de cada una de las probetas, procedemos al recopilar los datos y compararlos [Tabla 8].

| Tipo | Probeta | Compresión A (N/mm ²) | Compresión B (N/mm ²) |
|--------------|---------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| Sin residuo | 1 | 12,548 | 12,105 |
| | 2 | 11,723 | 12,796 |
| | 3 | 12,159 | 12,885 |
| | 4 | 13,428 | 12,027 |
| | 5 | 12,468 | 11,783 |
| | 6 | 12,826 | 12,307 |
| Aditivo 1% | 1 | 7,850 | 6,816 |
| | 2 | 8,897 | 8,388 |
| | 3 | 8,351 | 8,265 |
| | 4 | 7,513 | 8,247 |
| | 5 | 7,868 | 8,190 |
| | 6 | 7,733 | 9,056 |
| Aditivo 1,5% | 1 | 6,814 | 6,843 |
| | 2 | 7,264 | 8,281 |
| | 3 | 6,535 | 8,429 |
| | 4 | 8,255 | 8,326 |
| | 5 | 7,459 | 6,261 |
| | 6 | 7,031 | 7,765 |
| Aditivo 2% | 1 | 5,627 | 5,736 |
| | 2 | 5,975 | 6,914 |
| | 3 | 6,839 | 6,828 |
| | 4 | 6,425 | 6,446 |
| | 5 | 5,887 | 5,241 |
| | 6 | 5,182 | 4,841 |

[Tabla 8]: Resultados de la resistencia a compresión obtenida para cada % de aditivo. EP

Análisis bidireccional A/B

Vamos a realizar un análisis entre los resultados obtenidos para las dos partes de las probetas y así comprobar el correcto reparto de aditivo y ejecución de estas el día que se fabricaron.

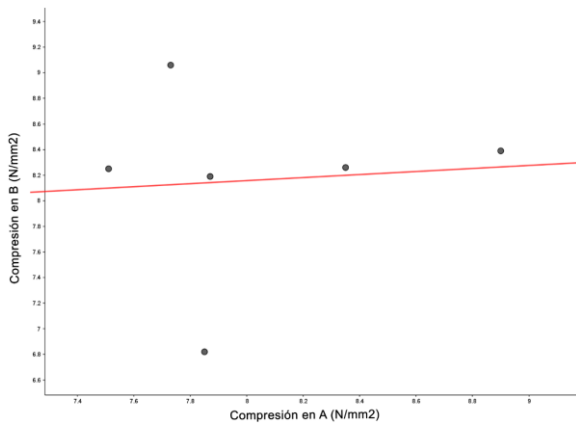


[Gráfica 32]: Análisis bidireccional entre A(x) y B(y) (0%). EP



[Imagen 34]: Partes A y B de las probetas sin aditivo. EP

Factor de correlación $r = 0,6482$

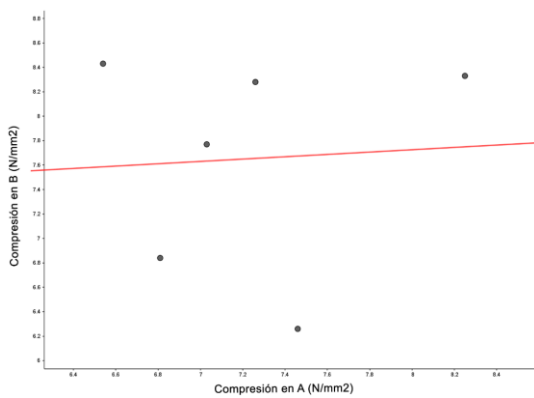


[Gráfica 33]: Análisis bidireccional entre A(x) y B(y) (1%). EP



[Imagen 35]: Partes A y B de las probetas con 1% de aditivo. EP

Factor de correlación $r = 0,0825$

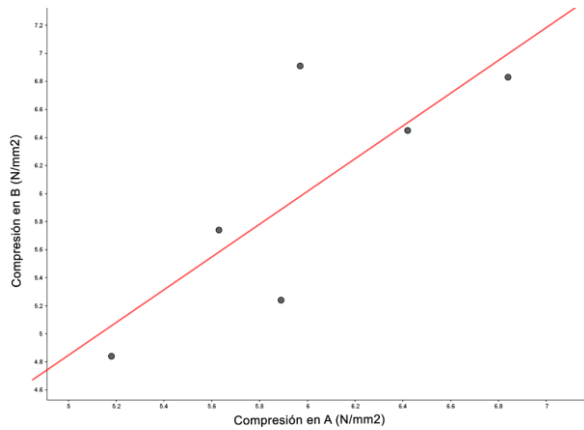


[Gráfica 34]: Análisis bidireccional entre A(x) y B(y) (1,5%). EP



[Imagen 36]: Partes A y B de las probetas con 1,5% de aditivo. EP

Factor de correlación $r = 0,0634$



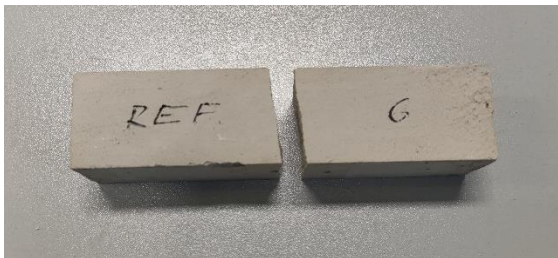
[Gráfica 35]: Análisis bidireccional entre A(x) y B(y) (2%). EP



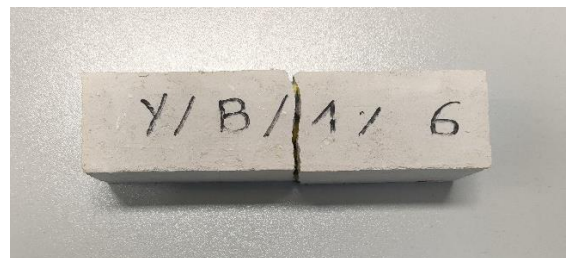
[Imagen 37]: Partes A y B de las probetas con 2% de aditivo. EP

Factor de correlación $r = 0,7916$

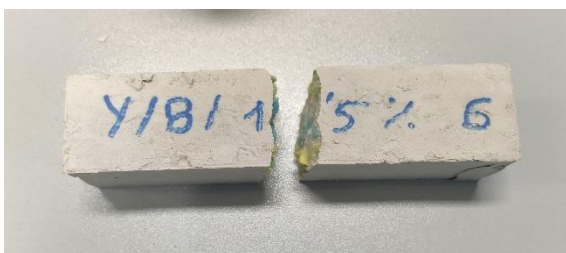
Como podemos advertir, no hay una relación directa entre las dos partes de la probeta en ninguno de los porcentajes. Esto puede ser debido a una mala forma de proceder a la hora de fabricarlas, que no sean homogéneas y el aditivo no esté bien repartido, o bien porque la rotura no es en el punto medio de la probeta, descompensando las mitades.



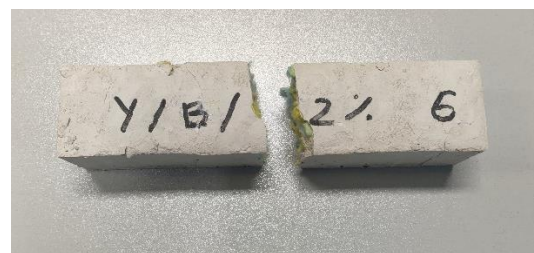
[Imagen 38]: Probeta de control después de ensayo a flexión. EP



[Imagen 39]: Probeta de 1% de aditivo después de ensayo a flexión. EP



[Imagen 40]: Probeta de 1,5% de aditivo después de ensayo a flexión. EP



[Imagen 41]: Probeta de 2% de aditivo después de ensayo a flexión. EP

Por eso, para obtener un resultado final para la probeta entera y una mejor lectura en relación a la cantidad de aditivo/resistencia a compresión de las probetas, vamos a realizar una media ponderada con el peso y los resultados a compresión obtenidos. Este paso es necesario ya que hay algunas probetas que presentaban pequeñas irregularidades de forma. Se llevará a cabo mediante la fórmula:

$$“(CA*PA+CB*Pb)/(PA+PB)”.$$

Diferenciamos A y B como las dos partes de las probetas una vez han roto en los ensayos, siendo el resto de incógnitas:

C: Compresión en la mitad correspondiente de la probeta

P: Peso de dicha mitad

| Nº Probetas | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Control YT (gr) | 12,32 | 12,21 | 12,55 | 12,75 | 12,15 | 12,58 |
| 1% YT (gr) | 7,33 | 8,65 | 8,31 | 7,87 | 8,02 | 8,36 |
| 1,5% YT (gr) | 6,83 | 7,80 | 7,46 | 8,29 | 6,94 | 7,41 |
| 2% YT (gr) | 5,67 | 6,44 | 6,83 | 6,43 | 5,55 | 5,02 |

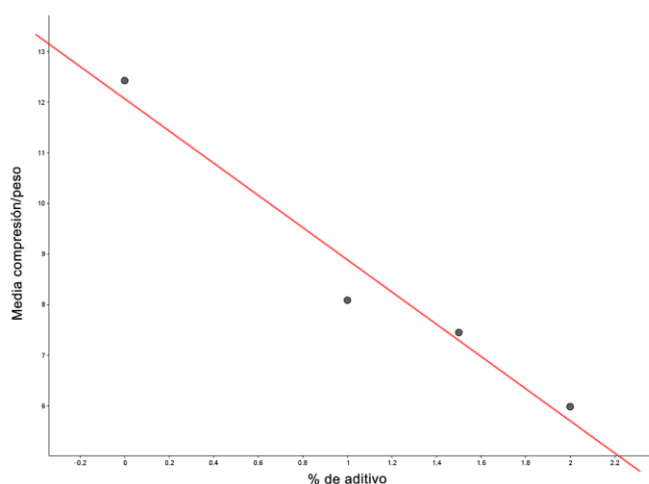
[Tabla 9]: Resultados media ponderada del peso con datos a compresión. EP

Procedemos a comprobar si hay algún tipo relación entre estos datos y los porcentajes de aditivo, realizando la media de dichos datos y llevándolos a una gráfica de análisis de dos variables.

| Nº Probetas | Media P/C |
|-----------------|-----------|
| Control YT (gr) | 12,43 |
| 1% YT (gr) | 8,09 |
| 1,5% YT (gr) | 7,45 |
| 2% YT (gr) | 5,99 |

[Tabla 10]: Resultados media de la comparación peso y compresión. EP

Análisis global %/compresión



[Gráfica 36]: Análisis de dos variables. Relación media de peso/compresión y porcentaje de aditivo. EP

Coefficiente de correlación (r): 0,9810

Como se observa, existe una clara relación entre estos dos parámetros. Cuanto mayor es el porcentaje de aditivo que añadimos, menor es la relación compresión/peso. Con esto podemos afirmar que, a mayor cantidad de aditivo, menor es la resistencia a compresión.

Para terminar el análisis de datos, sacando unas conclusiones finales, el material no trabaja bien a flexión ni a compresión, pero los valores de densidad son favorables según se le ha añadido más aditivo.

8. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Después de realizar un exhaustivo análisis de todos los datos obtenidos en las pruebas, llegamos a unas conclusiones claras, en lo que a las propiedades de la mezcla de yeso con fibras de bayetas de cocina se refiere.

Primero se analizó el peso de las probetas. Los resultados finales indican que no existe una relación directa entre el peso y el porcentaje de aditivo que se usó. Esto puede ser debido a una mala elaboración de las probetas o un mal proceso de secado de las mismas.

En segundo lugar, se estudió la relación de la densidad con el porcentaje de aditivo. Los datos indican que, a mayor cantidad de aditivo, menor es la densidad de las probetas por lo que esto abre una puerta directa a ciertos campos de acción para el grupo de materiales.

En tercer lugar, a la hora de examinar la resistencia a flexión, los resultados también fueron claros. En este caso ocurre lo contrario que con la densidad, a mayor cantidad de aditivo la flexión disminuye. La diferencia entre el 1% y el 1,5% de aditivo es casi nula, pero si es bastante significativa cuando hablamos de las probetas de yeso y las de 2%.

Por último, en la resistencia a compresión los resultados son más claros que en la flexión, ya que se pierde resistencia de manera mucho más evidente cuanto más aditivo se usa.

Como resumen, podríamos decir que la mezcla de yeso con bayetas de microfibras, formadas en su mayoría por rayón, **no tienen buenas capacidades mecánicas**, ya que estas disminuyen a mayor porcentaje se le añade. Por otro lado, la densidad de las probetas baja, pero esto no es necesariamente negativo. Al tener menor densidad, el material pesa menos y gana protagonismo en ámbitos como las rehabilitaciones, donde se busca esa ligereza para que las estructuras antiguas no sufran tanto y no tengan que ser reforzadas. Sería interesante realizar más estudios con otros porcentajes de aditivo y otro tipo de corte en las muestras para ampliar los resultados y conclusiones.

9. DISEÑO DEL PRODUCTO PROPUESTO

Para terminar de estudiar las capacidades del Yeso-Bayetas en el ámbito de la construcción, vamos a comparar nuestro material con uno que sea de uso comercial y cumpla con todos los requisitos exigidos por las distintas normas.

Tomando como base los resultados del análisis de datos, nos vamos a centrar en la baja densidad del material y en las ventajas que puede aportar. Se han elegido los resultados obtenidos con las probetas del 2% de aditivo ya que son las que más diferencia aportan. Por otro lado, los datos mecánicos no serán de gran importancia ya que se van a elegir tabiques interiores de yeso laminado, pero si cumplen con el mínimo exigido por la norma UNE EN-520:2005+A1. [27]

Antes de realizar la búsqueda en los catálogos de las diferentes empresas, vamos a realizar una tabla resumen de las diferencias entre el yeso puro y nuestra muestra con el 2% de aditivo [Tabla 11].

| Propiedades | Sin aditivo | 2% |
|---|-------------|--------|
| Peso (kg) | 319,32 | 321,85 |
| Densidad aparente (kg/m ³) | 1,23 | 1,18 |
| Resistencia a flexión (N/mm ²) | 4,15 | 3,40 |
| Resistencia a compresión (N/mm ²) | 12,43 | 5,99 |

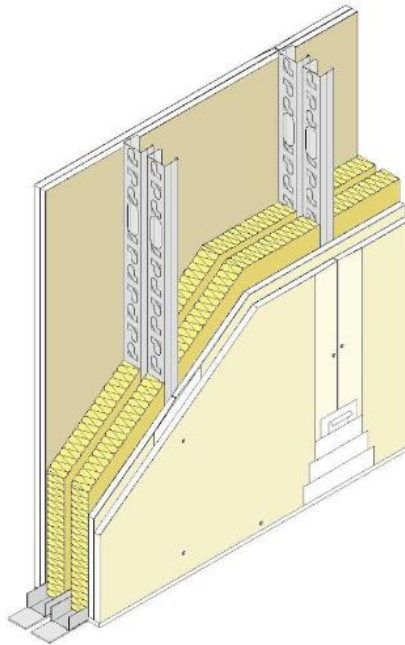
[Tabla 11]: Propiedades generales de las probetas con 2% de aditivo y sin él.

La propiedad más destacable de nuestro material es la densidad, esto implica que al tener el mismo volumen el peso será menor y esta es una propiedad que se busca especialmente en las rehabilitaciones de edificios. Al tener menos peso, la estructura existente sufre menos y de esta manera evitamos varios problemas, como la necesidad de reforzarla. Por otro lado, obtenemos peores resultados mecánicos y para contrarrestar esto nos vamos a centrar en tabiques interiores de yeso laminado que no tienen que soportar mucha carga.

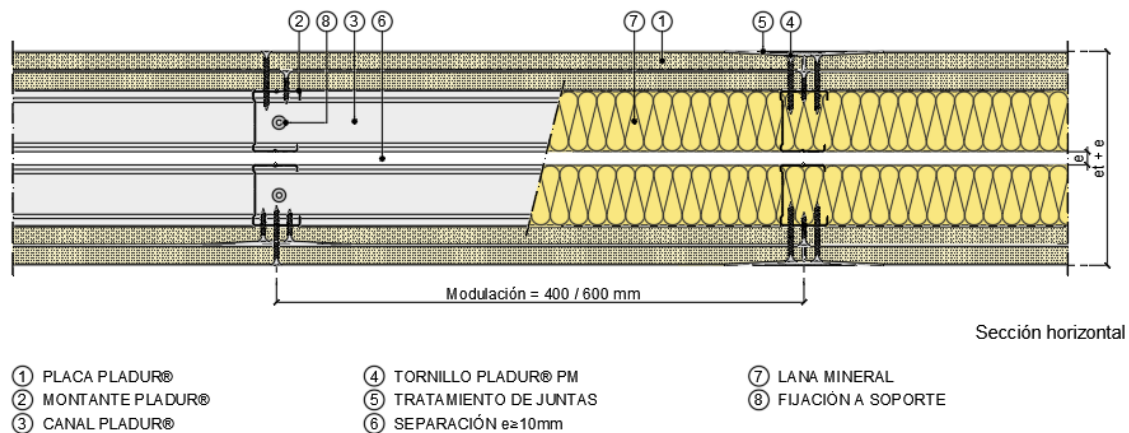
Dichos tabiques cuentan con una estructura propia de montantes que se encarga de recibir las pocas cargas que pueda recibir y así liberar a la placa de esa carga. En estos casos, si se le exige resistencia a flexión y en el nuestro no mejora, pero sí cumplimos con el mínimo exigido por la norma.

Empezamos por buscar un fabricante y sus productos para ver cual se adapta a las condiciones que tenemos. Se buscará entre las tres empresas de más renombre que son: Knauf, Placo y Pladur.

Después de estudiar los catálogos de los fabricantes, optamos por un tabique de separación con cuatro placas de yeso laminado compuesta por un alma de yeso 100%, cubierta por dos láminas de celulosa, con un ancho total de 15,6cm [Imagen 52]. Dicha placa será del tipo *PLADUR N – Terminación Normal* y no solo se usan para tabiques, se pueden ver en trasdosados y techos. [28]



[Imagen 42]: Tabique interior con placas de yeso laminado. Fuente: Pladur



[Imagen 43]: Sección tabique interior con placas de yeso laminado. Fuente: Pladur

Una vez hemos elegido el tipo de placa y el sistema donde la vamos a colocar, procedemos a comparar las cualidades de una hipotética placa compuesta por nuestro material Yeso+Aditivo 2% con la del fabricante.

Hablando únicamente de las placas del fabricante, hay que apuntar que estas a pesar de estar denominadas como placas de yeso 100%, contienen otros elementos como es el aligerante y que puede llegar a cubrir 1/3 del volumen. Este es una especie de gel que lo que hace es introducir aire en la placa y así reducir su densidad y peso.

Los fabricantes no exponen públicamente la composición del aligerante que han usado, la densidad, ni la cantidad o proporción de volumen que han mezclado con el yeso; por lo que hace imposible realizar una comparación justa con nuestro material.

Por tanto, la única solución óptima, a falta de tantos datos y pruebas, es suponer que la densidad, y por tanto el peso, de las placas de yeso es la misma que la resultante de las probetas sin aditivo.

| Propiedades | Placa Pladur N | Placa Yeso+Adit. 2% |
|--|----------------|---------------------|
| Longitud (mm) | 2400 | 2400 |
| Ancho (mm) | 1200 | 1200 |
| Espesor (mm) | 12,5 | 12,5 |
| Peso (kg/m ²) aprox | 15,40 | 14,74 |
| Densidad aparente (kg/m ³) | 1231,92 | 1178,83 |

[Tabla 12]: Comparación propiedades generales de la placa de Pladur con la Placa con aditivo. EP

A continuación, comparamos las capacidades mecánicas de las dos placas. Al igual que con la densidad, en este caso cogemos los datos obtenidos en la probeta de yeso ya que el aligerante puede otorgarle propiedades que desconocemos.

| Propiedades | Placa Pladur N | Placa Yeso+Adit. 2% |
|---|----------------|---------------------|
| Resistencia a flexión (N/mm ²) | 4,15 | 3,40 |
| Resistencia a compresión (N/mm ²) | 12,43 | 5,99 |

[Tabla 13]: Comparación propiedades mecánicas de la placa de Pladur con la Placa con aditivo. EP

Una vez realizadas estas comparaciones, podemos observar como la densidad y el peso en (kg/m²) es menor para la placa de yeso+aditivo 2%. La diferencia de peso por m² sería de **0,66kg**, mientras que la densidad disminuiría en un 5% con respecto a la placa de Pladur. Por otro lado, el tabique cuenta con 4 placas en sus dos caras, por lo que el total sería 61,6kg/m² y 58,96kg/m², ahorrándonos **2,64kg/m² de tabique**.

Por otro lado, y como ya habíamos comentado anteriormente, las capacidades mecánicas disminuyen, pero gracias a la estructura del tabique que evita que haya mucha exigencia, nos vale con superar el mínimo permitido por la norma UNE. La resistencia a flexión es un 18% más baja con respecto a la placa de yeso laminado del fabricante. Mientras que, por otro lado, la compresión cuenta con una diferencia bastante más considerable, siendo un 52% más baja la de la placa con el nuevo aditivo. Aun así, la única manera de estar seguros al 100% de estas conclusiones, sería realizar los ensayos pertinentes como marca la norma UNE EN-520:2005+A1 [27], a un ejemplar con unas medidas marcadas previamente. Ya que no se ha podido realizar en este estudio, en caso de llevar a cabo su continuación, serían las primeras pruebas a realizar.

De esta manera, podemos concluir que el nuevo material propuesto, con las mismas medidas que las que se exponen en la ficha técnica del producto original, nos proporciona más ligereza y liviandad (0,66kg menos por cada m²), perfecto para el caso de rehabilitaciones.

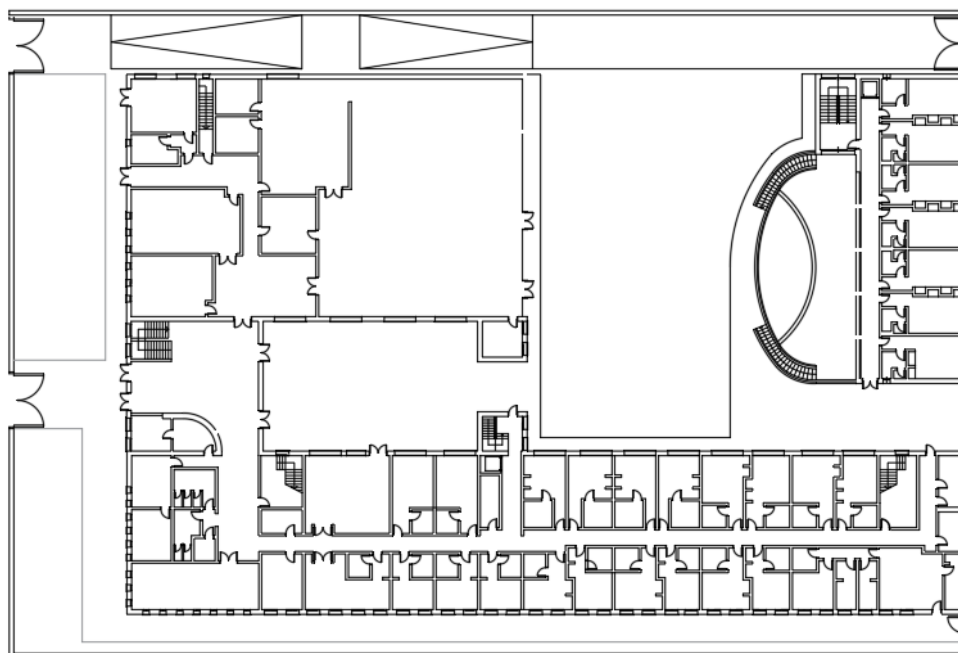
10. APLICACIÓN DEL PRODUCTO A UN CASO PRÁCTICO

A. Descripción del proyecto

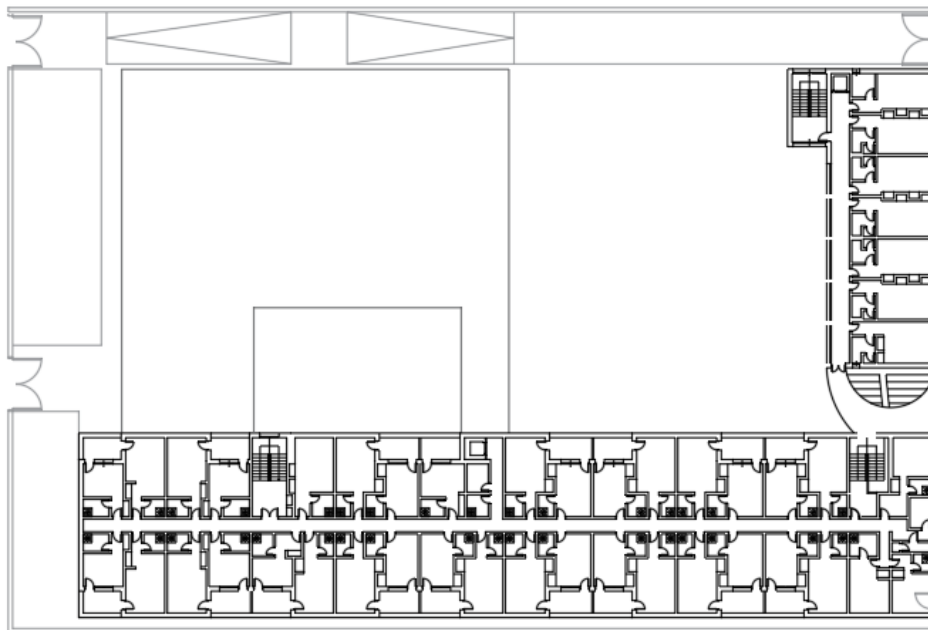
Una vez elegido el material en el cual se va a colocar el producto propuesto, atendiendo a las características que este presenta, vamos a aplicarlo a un caso práctico. Se propone la rehabilitación interior del Albergue Inturjoven Sevilla, situado en Sevilla. Dicho edificio consta de dos elementos: el edificio principal que cuenta con PB + 2, siendo P1 y P2 iguales, y el edificio Este que tiene PB + 2, siendo las 3 plantas iguales. Se quiere conseguir una calificación energética A y realizar una mejora acústica de las habitaciones y para esto y, como la fachada es cara vista, se realizará una rehabilitación interior gracias a los tabiques autoportantes expuestos con anterioridad. [23]



[Imagen 44]: Fotografía de la entrada al albergue. Fuente: Inturjoven.com



[Figura 6]: Planta baja de la edificación. Fuente: Inturjoven.com

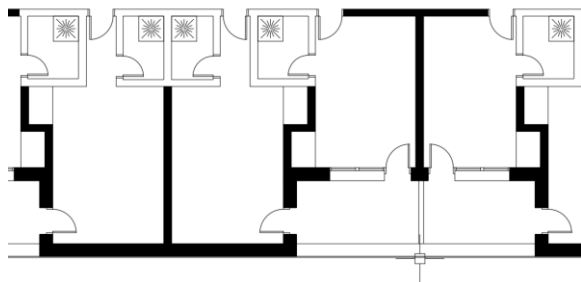


[Figura 7]: Planta primera y segunda de la edificación. Fuente: Inturjoven.com

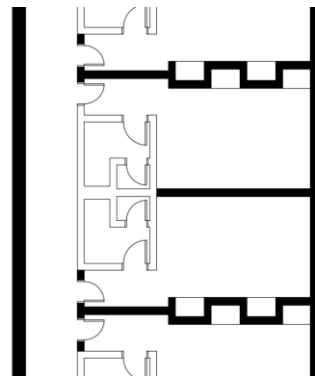
B. Aplicación del producto al caso práctico.

Como se comentaba anteriormente, se propuso un muro para particiones interiores con 2 placas de yeso laminado a cada lado, las cuales estarían compuestas por un alma de yeso 100% y nuestro aditivo, con un porcentaje del 2%. En el caso de la fachada, dicho tabique contará con dos placas y la estructura autoportante. Solo la planta sótano del edificio se quedará fuera de la rehabilitación ya que es el parking y habitaciones que no necesitan un aislamiento severo.

En primer lugar, comprobamos los metros cuadrados de tabiques que hay en cada planta para así poder hacer un cálculo del cambio que se va a realizar. Se tendrá en cuenta que la altura de cada planta es de 3m [tabla 14].



[Figura 8]: Tipología de muros del edificio sur. Fuente: Inturjoven.com



[Figura 9]: Tipología de muros del edificio este. Fuente: Inturjoven.com

| | Demanda en m ^l | Altura | Demanda en m ² | Demanda Total m ² | Demanda en m ³ | Demanda Total m ³ |
|----------------------------|---------------------------|--------|---------------------------|------------------------------|---------------------------|------------------------------|
| Planta baja edificio sur | 1408,67 | 3 | 211,3 | 606,36 | 633,9 | 1819,08 |
| Planta baja edificio este | 304,00 | | 45,60 | | 136,8 | |
| Planta 1 y 2 edificio sur | 1721,73 | | 258,26 | | 774,78 | |
| Planta 1 y 2 edificio este | 608,00 | | 91,20 | | 273,6 | |

[Tabla 14]: Demanda de tabiques con placas de yeso laminado. EP

A continuación, como lo que buscamos en esta rehabilitación es reducir el peso de los muros interiores para que no haya que reforzar ni apeaar la estructura, vamos a comparar el del muro que podemos encontrar en los catálogos de la empresa Pladur con el muro que se propone con nuestro 2% de aditivo.

| | Peso (kg/m ²) | Area de tabiques necesaria (m ²) | Peso de la estructura (kg) |
|-----------------|---------------------------|--|----------------------------|
| Placa Pladur | 61,60 | 606,36 | 37349,28 |
| Placa propuesta | 58,94 | | 35739,70 |

[Tabla 15]: Comparación de pesos de los tabiques. EP

Como resultado de la comparación, el peso disminuye **1609,58kg** en el total de la rehabilitación, 1 tonelada, gracias a la placa que contiene el aditivo propuesto. En el caso del edificio sur el peso disminuye 1246,45kg, mientras que en el este la diferencia es de 363,14kg.

Por otro lado, la producción y preparación del residuo de rayón que se propone es casi nula ya que solo requiere llevar a cabo el corte. Para ello vamos a realizar una comparativa económica entre el muro comercializado por Pladur y el propuesto. Esta se realizará en función a los m³ de tabique que se van a colocar en el edificio, sabiendo que nuestro material conforma un 2% del peso de la placa propuesta. Conociendo que el kg de placa de yeso laminado vale aproximadamente 0,83€ vamos a realizar la comparación [Tabla 16]. [29]

| | Precio del kg (€) | Peso de la placa (kg) | Precio de cada placa (€) | Medida de cada placa (m ³) | Demanda Total (m ³) | Precio total (€) |
|-----------------|-------------------|-----------------------|--------------------------|--|---------------------------------|------------------|
| Placa Pladur | 0,83 | 15,40 | 12,8 | 0,036 | 1819,08 | 646784,00 |
| Placa propuesta | | 14,74 | 12,23 | | | 618194,13 |

[Tabla 16]: Comparación de precios entre la placa comercializada y la propuesta. EP

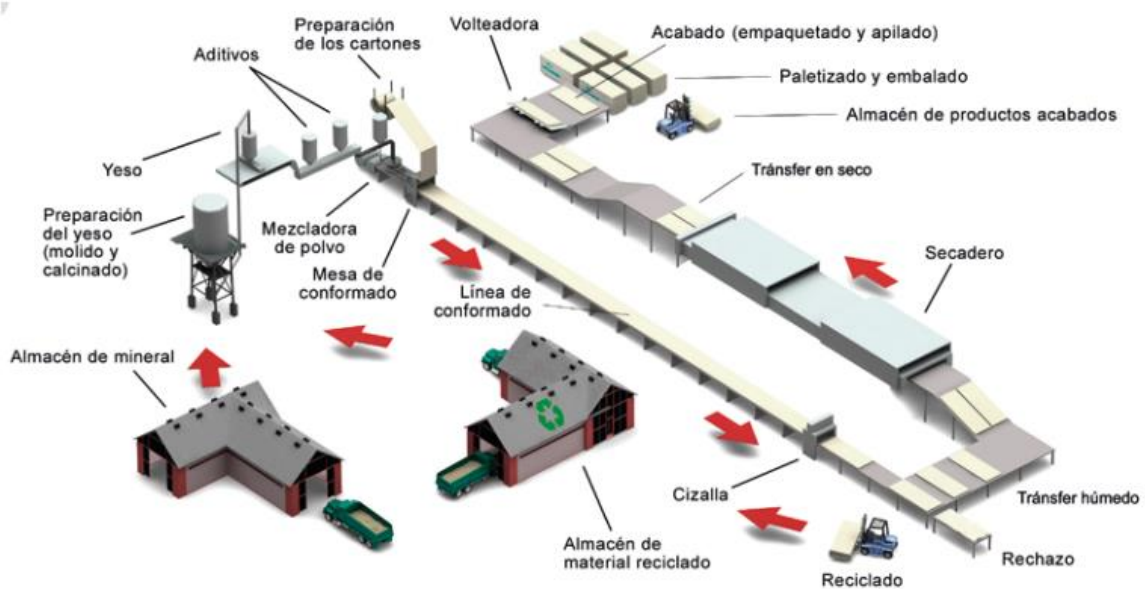
Una vez observamos los resultados, advertimos que nos **ahorramos** un total de **28589,87€**, gracias al aditivo que añadimos, un 5%. Por otro lado, debido a que el peso de las placas disminuye, se podrán transportar más de una vez y por lo tanto también supone un ahorro en el transporte.

C. Impacto medioambiental

Con las placas propuestas no solo se busca mejorar las capacidades físicas, con respecto a la que se comercializa, sino que también tenga un menor impacto medio ambiental. Por eso se va a realizar una comparación entre la placa comercializada y la propuesta, haciendo una aproximación de los datos, ya que por la evidente falta de pruebas en laboratorio no podemos asegurar los resultados. La comparación se realizará en base a la cantidad de yeso que se ahorra cada placa por el añadido del aditivo.

Según el DAP de Pladur de las placas de yeso laminado N13 el proceso de fabricación es el siguiente: "Las materias primas se mezclan de manera homogénea en el mixer para formar la pasta de yeso, que es descargada a través de unas secciones de salida sobre una lámina de papel que está avanzando sobre la banda de formación. Paralelamente, se alimenta una segunda lámina de papel para formar la placa de yeso laminado. La placa continúa avanzando sobre la línea de producción hasta que adquiere la dureza suficiente para ser cortada. Posteriormente se somete a secado en un proceso continuo. Por último, se apila, paletiza y envuelve con film para formar el producto empaquetado.

El proceso de fabricación permite la incorporación de material reciclado al inicio del proceso productivo. [Anexo DAP Pladur]



[Imagen 45]: Diagrama de flujo del proceso de fabricación. Fuente: Pladur.com

A continuación, vamos a comparar varios parámetros medioambientales entre la placa comercializada y la propuesta. Como es imposible saber los resultados exactos que tendría nuestra propuesta sin hacer las pruebas pertinentes, vamos a suponer los resultados en función de la cantidad de yeso que contienen [Tabla 16]:

| | 0,0125m ³ | Placa comercializada | Placa propuesta |
|--|----------------------|----------------------|-----------------|
| Emisión de CO2 kgCO2 | | 4,08 | 3,91 |
| Agotamiento de la capa de ozono kg CFC | | 3,97 | 3,80 |
| Consumo de Energía no renovable MJ | | 49,00 | 46,90 |
| Producción de residuos kg | | 0,40 | 0,38 |
| Reciclaje de residuos kg | | 0,00 | 0,23 |
| Consumo de agua m ³ | | 0,019 | 0,018 |

[Tabla 17]: Comparación ambiental entre placa comercializada y la propuesta (1unidad). EP

Al añadirle aditivo a las placas de yeso podemos observar cómo mejoran todos los parámetros de impacto medio ambiental, destacando el reciclaje de residuos como uno de los que más beneficios genera. Ahora vamos a llevar esta comparación a lo que produciría la obra de

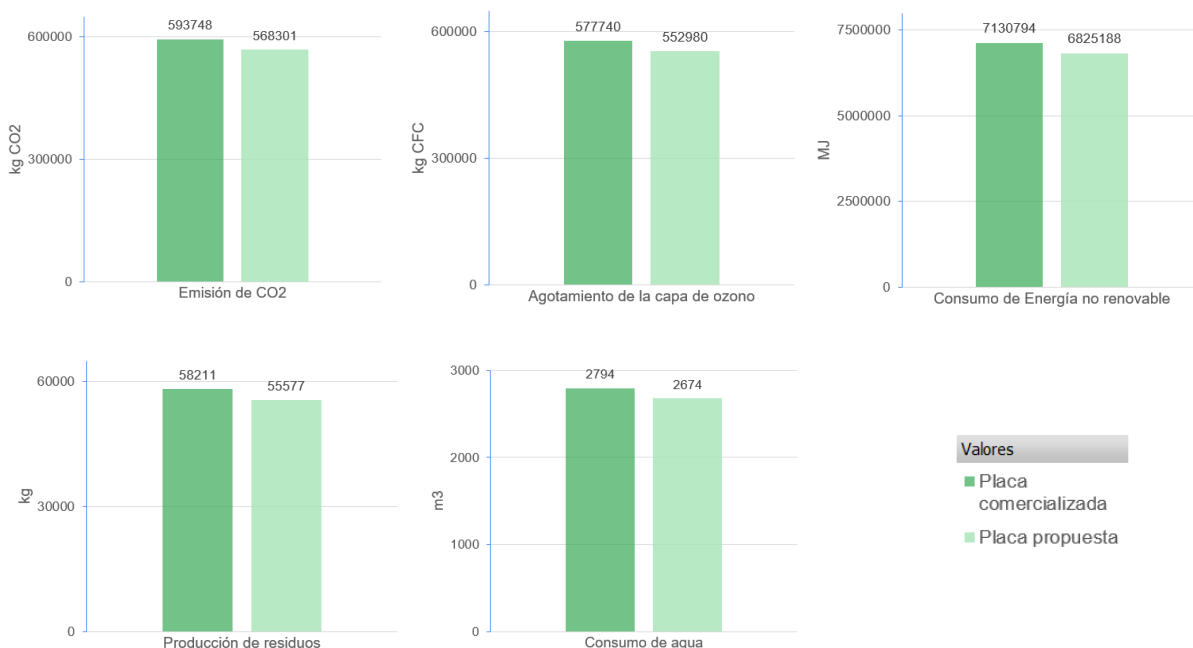
rehabilitación realizada en el albergue para hacernos una idea del impacto a escala real. [Tabla 18]

| Total obra=1819,08m3 | Placa comercializada | Placa propuesta | Diferencia |
|--|----------------------|-----------------|------------|
| Emisión de CO2 kgCO2 | 593747,71 | 568301,38 | 25446,33 |
| Agotamiento de la capa de ozono kg CFC | 577739,81 | 552979,53 | 24760,28 |
| Consumo de Energía no renovable MJ | 7130793,60 | 6825188,16 | 305605,44 |
| Producción de residuos kg | 58210,56 | 55576,53 | 2634,03 |
| Reciclaje de residuos kg | 0,00 | 33349,80 | 33349,80 |
| Consumo de agua m3 | 2794,11 | 2674,36 | 119,75 |

[Tabla 18]: Comparación ambiental entre placa comercializada y la propuesta (obra completa). EP

Como podemos observar, hay una gran diferencia en los distintos parámetros: la emisión de CO2 disminuye un **5,3%**, el agotamiento de la capa de ozono y el consumo de energía no renovable un **4,8%** (en el caso de la primera 24T de CO2 menos), la producción de residuos se reduce un **4,5%** el consumo de agua un **4,3%** y, por último, el reciclaje de residuos pasa de 0kg a **33T**, un gran cambio gracias a las bayetas de microfibras.

Para esto último, cabe destacar que cuando usamos las bayetas de microfibras, las usamos enteras, sin necesidad de separar elementos o retirar partes de esta. Por eso cabe destacar que esas 33 toneladas de residuos recicladas son 100% limpias para el medio ambiente.



[Gráfica 37]: Impacto medio ambiental de placa comercializada y placa propuesta en el albergue. EP

11. CONCLUSIONES FINALES

Con el estudio del caso práctico, se ha demostrado la beneficiosa aportación física y medioambiental que tendría el material propuesto, matriz de yeso y bayetas de microfibras sintéticas.

En primer lugar, se puede llegar a ahorrar gran peso a estructuras que necesitan una rehabilitación y así reducir la intervención y refuerzo que necesiten, ahorrando tanto en materiales como medioambientalmente.

En segundo lugar, se reduce de manera evidente la contaminación medioambiental, como observamos en los parámetros analizados, y se reutiliza toda la cantidad de material desechable proveniente de las bayetas, elementos que ya no tendrían ningún uso ni posible reciclado. El hecho de añadir este aditivo a una base de yeso propicia que se necesite menos y, por tanto, se reduce también la huella ecológica que provoca su producción.

Finalmente, siguiendo los distintos puntos mencionados anteriormente, la línea a seguir sería el gran beneficio medioambiental que significa el uso de este material. De esta manera, sería recomendable llevar a cabo futuras investigaciones donde se buscase progresar en las prestaciones tanto mecánicas como medioambientales del material, con diferentes geometrías y porcentajes, junto a una matriz de yeso.

12. BIBLIOGRAFÍA

Páginas Web:

- [1] **Qué son los plásticos - Cairplas.** (n.d.). Retrieved April 19, 2022, from <https://cairplas.org.ar/plasticos/>
- [2] **Plástico - Wikipedia, la enciclopedia libre.** (n.d.). Retrieved April 19, 2022, from <https://es.wikipedia.org/wiki/Pl%C3%A1stico>
- [3] **PlasticsEurope. (n.d.). Plásticos-Situación en 2020.**
https://plasticseurope.org/es/wp-content/uploads/sites/4/2021/11/ES_Plastics_the_facts-WEB_2020_May21_final_updatedJuly2021.pdf
- [4] **Plastics Europe - Plastics Europe ES.** (n.d.). Retrieved April 19, 2022, from <https://plasticseurope.org/es/>
- [6] **Rayón.** (n.d.). Retrieved April 19, 2022, from https://www.quimica.es/enciclopedia/Ray%C3%B3n.html#_note-fibersource/
- [7] **Infocikla - Residuos - Bayeta.** (n.d.). Retrieved April 19, 2022, from <http://www.infocikla.eus/es/buscar-residuo/residuo/927/>
- [8] **Rayon Fiber - the Multi-Faceted Fiber - Textile School.** (n.d.). Retrieved April 19, 2022, from <https://www.textileschool.com/156/rayon-the-multi-faceted-fiber/>
- [9] **Guía de manejo (n.d.). Resinas de poliéster.**
<https://www.eafit.edu.co/servicios/centrodelaLaboratorios/infraestructura/laboratorios/Document/s/Guia%20de%20manejo%20de%20resinas.pdf>
- [10] **QUÉ ES EL POLIPROPILENO | PETROQUIM.** (n.d.). Retrieved April 19, 2022, from <http://www.petroquim.cl/que-es-el-polipropileno/>
- [11] **Polipropileno - Wikipedia, la enciclopedia libre.** (n.d.). Retrieved April 19, 2022, from <https://es.wikipedia.org/wiki/Polipropileno>
- [12] **Poliéster: ¿Qué es? Usos, ventajas e inconvenientes | Servei Estació.** (n.d.). Retrieved April 19, 2022, from <https://serveiestacio.com/blog/poliester-que-es/>
- [13] **Ventajas Y Desventajas Del Poliéster. Todo Lo Que Necesitas Saber.** (n.d.). Retrieved April 19, 2022, from <https://blog.monouso.es/ventajas-y-desventajas-del-poliester/>
- [14] **AENOR más Normas UNE - Universidad de Sevilla.** (n.d.). Retrieved June 17, 2022, https://fama.us.es/discovery/fulldisplay?docid=alma991006360539704987&context=L&vid=34CUBA_US:VU1&lang=es&search_scope=all_data_not_idus&adaptor=Local%20Search%20Engine&tab=all_data_not_idus&query=any,contains,NORMAS%20UNE&offset=0

- [15] **AENOR. - UNE-EN ISO 1015-11** - (n.d.). Retrieved June 17, 2022 https://portal--aenormas--aenor--com.us.debiblio.com/aenor/Suscripciones/Personal/detalle_coleccion.asp#.YqyhzHbMK00
- [16] **Polipropileno ¿Qué es? Ventajas y usos**. (n.d.). Retrieved May 15, 2022, from <https://www.ensavelia.com/blog/que-es-el-polipropileno-id13.htm>
- [17] **Tipos de resinas plásticas. Usos y aplicaciones** - Imagia Global. (n.d.). Retrieved May 15, 2022, from <https://imagiaglobal.com/tipos-de-resinas-plasticas/>
- [18] **El Polipropileno una Resina muy Versátil** - Packsys. (n.d.). Retrieved May 15, 2022, from <http://www.packsys.com/blog/el-polipropileno/>
- [19] **¿Qué es la resina de polipropileno?** - Spiegato. (n.d.). Retrieved May 15, 2022, from <https://spiegato.com/es/que-es-la-resina-de-polipropileno>
- [20] **El Polipropileno y el Plástico Reciclado** | Plásticos Reciclados México. (n.d.). Retrieved May 15, 2022, from <https://globaplast.com.mx/polipropileno-y-plastico-reciclado/>
- [21] **¿Qué es el polipropileno? Ventajas de su uso y reciclaje** - Ecoembes dudas del reciclaje. (n.d.). Retrieved May 15, 2022, from <https://ecoembesdudasreciclaje.es/que-es-el-polipropileno-ventajas-de-su-uso-y-reciclaje/>
- [22] **Procesos de fabricación de polipropileno** | Textos Científicos. (n.d.). Retrieved May 15, 2022, from <https://www.textoscientificos.com/polimeros/polipropileno/fabricacion>
- [23] **Albergue interjoven Sevilla** | (n.d.). Retrieved June 18, 2022, from <https://www.inturjoven.com/albergues/sevilla/albergue-inturjoven-sevilla>
- [24] **UNE 102042:201. "Yesos y escayolas de construcción. Otros métodos de ensayo"** <http://www.aenor.es/>. Normas UNE. AENOR (Asociación Española de Normalización y Certificación Aenor), 2014.
- [25] **"UNE-EN 13279-2:2014 Yeso de construcción y conglomerantes a base de yeso para la construcción"**. [Online]. <http://www.aenor.es/>. Normas UNE. AENOR (Asociación Española de Normalización y Certificación Aenor), 2014
- [26] **"UNE- EN 196-1:2018 Métodos de ensayo de cementos"**. [Online]. <http://www.aenor.es/>. Normas UNE. AENOR (Asociación Española de Normalización y Certificación Aenor), 2018
- [27] **"UNE -EN 520:2005+A1:2010 Placas de yeso laminado. Definiciones, especificaciones y métodos de ensayo"**. [Online]. <http://www.aenor.es/>. Normas UNE. AENOR (Asociación Española de Normalización y Certificación Aenor), 2018
- [28] **Tabique interior Pladur 146**. | . Retrieved Jun 7, 2022 from <https://corporativo.pladur.com/es-es/sistemas/tabiques-separacion-pladur/estructura-doble-camara-unica-libre/tabique-pladur-146-48-35-e-48-35-4n-2mw-libre/>
- [29] **Precio de las placas de yeso laminado** | Retrieved Jun 19, 2022 from <https://www.pladur.com/es/campanillas-malaga/placas/aplicaciones-estandar/placa-pladur-n-13x1200>

[30] Plásticos con buenas propiedades mecánicas | Ensinger. (n.d.). Retrieved June 23, 2022, from <https://www.ensingerplastics.com/es-es/semielaborados/seleccion-de-materiales-plasticos/propiedades-mecanicas>

Estudios científicos de referencia:

- [31] Bouzit, S., Merli, F., Sonebi, M., Buratti, C., & Taha, M. (2021). **Gypsum-plasters mixed with polystyrene balls for building insulation: Experimental characterization and energy performance.** *Construction and Building Materials*, 283, 122625. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2021.122625>
- [32] Mohandesi, J. A., Sangghaleh, A., Nazari, A., & Pourjavad, N. (2011). **Analytical modeling of strength in randomly oriented PP and PPTA short fiber reinforced gypsum composites.** *Computational Materials Science*, 50(5), 1619–1624. <https://doi.org/10.1016/J.COMMATSCI.2010.12.020>
- [33] Franciszczak, P., Merijs-Meri, R., Kalniņš, K., Błędzki, A. K., & Zicans, J. (2017). **Short-fibre hybrid polypropylene composites reinforced with PET and Rayon fibres – Effects of SSP and interphase tailoring.** *Composite Structures*, 181, 121–137. <https://doi.org/10.1016/J.COMPSTRUCT.2017.08.075>
- [34] Guerrero, V. H., Pontón, P., Tamayo, A., Villacís, H., Delgado, F., & Galeas, S. (2013). **Materiales compuestos de matriz poliéster reforzados con fibras naturales y sintéticas.** *Congreso de Ciencia y Tecnología ESPE*, 8(1), 70–74. <https://doi.org/10.24133/CCTESPE.V8I1.112>

13. ANEXOS

Imágenes:

Imagen 1: tejido Viscosa FUENTE: Wikipedia. <https://es.wikipedia.org/wiki/Viscosa>

Imagen 2: Tejido.rayón. FUENTE: Wikipedia.https://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Rayon_closeup_2.jpg

Imagen 3: Muestra de polipropileno. Fuente: <http://es.seerepet.com>

Imagen 4: Proceso de producción del polipropileno. <http://www.petroquim.cl/que-es-el-polipropileno/>

Imagen 5: Proceso de producción final del polipropileno. <http://www.petroquim.cl/que-es-el-polipropileno/>

Imagen 6: Bolas de poliestireno (BPS). FUENTE: <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2021.122625>

Imagen 7: Muestras para ensayo de Tubo de Kundt sin perforaciones y con apariencia lisa. FUENTE: <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2021.122625>

Imagen 8: Imagen de microscopía de la fibra en la matriz de yeso. FUENTE: <https://doi.org/10.1016/J.COMMATSCI.2010.12.020>

Imagen 9: La superficie de la fibras de PP, acumula grandes cantidades de cristales de yeso que demuestra su excelente compatibilidad. FUENTE: <https://doi.org/10.1016/J.COMMATSCI.2010.12.020>

Imagen 10: Imágenes de secciones transversales de rayón viscosa, PET y fibra de vidrio en magnitudes 500 y 1000. FUENTE: <https://doi.org/10.1016/J.COMPSTRUCT.2017.08.075>

Imagen 11: Proceso de producción de composites de PP de fibra corta. FUENTE: <https://doi.org/10.1016/J.COMPSTRUCT.2017.08.075>

Imagen 12: Tamizando las muestras ya cortadas. Elaboración propia

Imagen 13: Medición de muestra aleatoria de bayeta. Elaboración propia

Imagen 14: Bayeta cortada en un recipiente con agua. Elaboración propia

Imagen 15: Aplicación del desencofrante en los moldes de probetas. Elaboración propia

Imagen 16: Pesaje de las muestras en seco. Elaboración propia

Imagen 17: Vertido de agua en las muestras para humedecerlas. Elaboración propia

Imagen 18: Pesaje de la cantidad de yeso que se añadirá. Elaboración propia

Imagen 19: Pesaje de la cantidad de agua que se añadirá. Elaboración propia

Imagen 20: Mezcla del aditivo con el yeso. Elaboración propia

Imagen 21: Mezcla del aditivo con el yeso. Elaboración propia

- Imagen 22: Vertido de agua en la mezcla de yeso con aditivo. Elaboración propia
- Imagen 23: Mezcla de agua con yeso y aditivo. Elaboración propia
- Imagen 24: Vertido de la masa obtenida en los moldes. Elaboración propia
- Imagen 25: Vertido y relleno completo de los moldes. Elaboración propia
- Imagen 26: Probetas de 1% y 1,5% terminadas sin secar. Elaboración propia
- Imagen 27: Probetas control y 2% terminadas sin secar. Elaboración propia
- Imagen 28: Prensa de ensayo Codein S.L usada en laboratorio. Elaboración propia
- Imagen 29: Imagen de las probetas después del ensayo a flexión. Elaboración propia
- Imagen 30: Probeta de control después de ensayo a flexión. Elaboración propia
- Imagen 31: Probeta de 1% de aditivo después de ensayo a flexión. Elaboración propia
- Imagen 32: Probeta de 1,5% de aditivo después de ensayo a flexión. Elaboración propia
- Imagen 33: Probeta de 2% de aditivo después de ensayo a flexión. Elaboración propia
- Imagen 34: Partes A y B de las probetas sin aditivo. Elaboración propia
- Imagen 35: Partes A y B de las probetas con 1% de aditivo. Elaboración propia
- Imagen 36: Partes A y B de las probetas con 1,5% de aditivo. Elaboración propia
- Imagen 37: Partes A y B de las probetas con 2% de aditivo. Elaboración propia
- Imagen 38: Probeta de control después de ensayo a flexión. Elaboración propia
- Imagen 39: Probeta de 1% de aditivo después de ensayo a flexión. Elaboración propia
- Imagen 40: Probeta de 1,5% de aditivo después de ensayo a flexión. Elaboración propia
- Imagen 41: Probeta de 1% de aditivo después de ensayo a flexión. Elaboración propia
- Imagen 42: Tabique interior con placas de yeso laminado. Fuente: Pladur.com
- Imagen 43: Sección tabique interior con placas de yeso laminado. Fuente: Pladur.com
- Imagen 44: Fotografía de la entrada al albergue. Fuente: Inturjoven.com
- Imagen 45: Diagrama de flujo del proceso de fabricación. Fuente: Pladur.com

Figuras:

Figura 1: Distribución de la producción de plásticos en el mundo. Elaboración propia

Figura 2: Distribución de la demanda de plásticos por tipo de resina en 2019. FUENTE: PlasticsEurope. <https://plasticseurope.org/es/>

Figura 3: Distribución de la demanda de plásticos por tipo de resina en 2019. Fuente: <https://plasticseurope.org/es/>

Figura 4: Tratamiento de residuos Plásticos en España. FUENTE: <https://plasticseurope.org/es/>

Figura 5: Propiedades del PET antes y después de las fibras SSP, Viscosa Rayón y E-Glass. FUENTE: <https://doi.org/10.1016/J.COMPSTRUCT.2017.08.075>

Figura 6: Planta baja de la edificación. Fuente: Inturjuven.com

Figura 7: Planta primera y segunda de la edificación. Fuente: Inturjuven.com

Figura 8: Tipología de muros del edificio sur. Fuente: Inturjuven.com

Figura 9: Tipología de muros del edificio este. Fuente: Inturjuven.com

Tablas:

Tabla 1: Resultados del peso de las probetas. Elaboración propia

Tabla 2: Resultados media de los pesos. Elaboración propia

Tabla 3: Resultados canto final de las probetas. Elaboración propia

Tabla 4: Resultados de la densidad aparente de las probetas de yeso. Elaboración propia

Tabla 5: Resultados media de la densidad por % de aditivo. Elaboración propia

Tabla 6: Resultados de la resistencia a flexión obtenida para cada % de aditivo. Elaboración propia

Tabla 7: Resultados media de la flexión por % de aditivo. Elaboración propia

Tabla 8: Resultados de la resistencia a compresión obtenida para cada % de aditivo. Elaboración propia

Tabla 9: Resultados media ponderada del peso con datos a compresión. Elaboración propia

Tabla 10: Resultados media de la comparación peso y compresión. Elaboración propia

Tabla 11: Propiedades generales de las probetas con 2% de aditivo y sin él. Elaboración propia

Tabla 12: Comparación propiedades generales de la placa de Pladur con la Placa con aditivo. Elaboración propia

Tabla 13: Comparación propiedades mecánicas de la placa de Pladur con la Placa con aditivo. Elaboración propia

Tabla 14: Demanda de tabiques con placas de yeso laminado. Elaboración propia

Tabla 15: Comparación de pesos de los tabiques. Elaboración propia

Tabla 16: Comparación de precios entre la placa comercializada y la propuesta. Elaboración propia

Tabla 17: Comparación ambiental entre placa comercializada y la propuesta (1 unidad). Elaboración propia

Tabla 18: Comparación ambiental entre placa comercializada y la propuesta (obra completa). Elaboración propia

Gráficas:

Gráfica 1: Tratamiento de residuos Plásticos en la Unión Europea. - <https://plasticseurope.org/es/>

Gráfica 2: Tratamiento de residuos Plásticos en España. - <https://plasticseurope.org/es/>

Gráfica 3: Demanda Europa de plásticos 2019. Fuente: Plastics – the facts 2020. - <https://plasticseurope.org/es/>

Gráfica 4: Resistencia flexión (a), resistencia a compresión (b): influencia del contenido de poliestireno y del diámetro de las bolas. FUENTE: <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2021.122625>

Gráfica 5: Conductividad térmica del revoque de yeso con bolas de poliestireno: influencia del contenido y diámetro del poliestireno. (a) k-valores @31–33 -C y (b) k-valores @10 - C. FUENTE: <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2021.122625>

Gráfica 6: Coeficiente de absorción de incidencia normal de las muestras. FUENTE: <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2021.122625>

Gráfica 7: Curva esfuerzo vs. deformación de materiales compuestos matriz de poliéster reforzados con fibra de abacá y fibra de vidrio. FUENTE: <https://doi.org/10.24133/CCTESPE.V8I1.112>

Gráfica 8: Curva esfuerzo vs. deformación de materiales compuestos de matriz poliéster reforzados con fibra de coco y fibra de vidrio. FUENTE: <https://doi.org/10.24133/CCTESPE.V8I1.112>

Gráfica 09: Diagrama de bigotes y caja de peso de las probetas control. Elaboración propia

Gráfica 10: Diagrama de bigotes y caja de peso de las probetas con porcentaje 1%.
Elaboración propia

Gráfica 11: Diagrama de bigotes y caja de peso de las probetas con porcentaje 1,5%.
Elaboración propia

Gráfica 12: Diagrama de bigotes y caja de peso de las probetas con porcentaje 2%.
Elaboración propia

Gráfica 13: Análisis de dos variables. Relación media de peso y porcentaje de aditivo.
Elaboración propia

Gráfica 14: Análisis de dos variables. Relación media densidad aparente y porcentaje de aditivo. Elaboración propia

Gráfica 15: Diagrama de bigotes y caja de flexión de las probetas de control. Elaboración propia

Gráfica 16: Diagrama de bigotes y caja de flexión de las probetas con 1% de aditivo.
Elaboración propia

Gráfica 17: Diagrama de bigotes y caja de flexión de las probetas con 1% corregida.
Elaboración propia

Gráfica 18: Diagrama de bigotes y caja de flexión de las probetas con 1,5% de aditivo.
Elaboración propia

Gráfica 19: Diagrama de bigotes y caja de flexión de las probetas con 2% de aditivo.
Elaboración propia

Gráfica 20: Análisis de dos variables. Relación peso-flexión probetas control (0%).
Elaboración propia

Gráfica 21: Análisis de dos variables. Relación peso-flexión probetas con aditivo (1%).
Elaboración propia

Gráfica 22: Análisis de dos variables. Relación peso-flexión probetas con aditivo (1,5%).
Elaboración propia

Gráfica 23: Análisis de dos variables. Relación peso-flexión probetas con aditivo (2%).
Elaboración propia

Gráfica 24: Análisis de dos variables. Relación densidad-flexión probetas control (0%).
Elaboración propia

Gráfica 25: Análisis de dos variables. Relación densidad-flexión probetas con aditivo (1%).
Elaboración propia

Gráfica 26: Análisis de dos variables. Relación densidad-flexión probetas con aditivo (1,5%).
Elaboración propia

Gráfica 27: Análisis de dos variables. Relación densidad-flexión probetas con aditivo (2%).
Elaboración propia

Gráfica 28: Análisis global. Relación densidad-flexión. Elaboración propia

Gráfica 29: Análisis global. Relación densidad-flexión (polinomio). Elaboración propia

Gráfica 30: Análisis global. Relación %-flexión. Elaboración propia

Gráfica 31: Análisis global. Relación %-flexión (polinomio). Elaboración propia

Gráfica 32: Análisis bidireccional entre $A(x)$ y $B(y)$ (0%). Elaboración propia

Gráfica 33: Análisis bidireccional entre $A(x)$ y $B(y)$ (1%). Elaboración propia

Gráfica 34: Análisis bidireccional entre $A(x)$ y $B(y)$ (1,5%). Elaboración propia

Gráfica 35: Análisis bidireccional entre $A(x)$ y $B(y)$ (2%). Elaboración propia

Gráfica 36: Análisis de dos variables. Relación media de peso/compresión y porcentaje de aditivo. Elaboración propia

Gráfica 37: Impacto medio ambiental de placa comercializada y placa propuesta en el albergue. Elaboración propia

PLADUR® N - TERMINACIÓN NORMAL

01a01001ES - Rev. 06/2020



DESCRIPCIÓN

Placa de yeso laminado. Está formada por un **alma de yeso 100%** natural recubierta en sus dos caras por una lámina de celulosa especial.

CAMPO DE APLICACIÓN

- La placa PLADUR® N(*) se emplea para la construcción en seco de sistemas de albañilería interior que no requieren prestaciones especiales: tabiques y particiones, techos continuos (fijos y suspendidos), trasdosados (directos y autoportantes) o elementos decorativos.
- Está indicada para su uso con estructuras metálicas PLADUR® o estructuras de madera(**).
- No es apta para zonas de humedad permanente ni tabiques que tengan conducciones de agua en su interior.

(*) Las placas Pladur® N de 6,5 y 9,5 mm de espesor están indicadas únicamente para unidades laminadas de decoración sin carácter resistente y por tanto no están indicadas para unidades verticales u horizontales formados por una sola placa, sea cual sea la modulación de su estructura portante. En caso de unidades o elementos decorativos normales o curvos el mínimo de placas a utilizar por cada cara del tabique son dos. Cuando sean aplicables las especificaciones de los documentos básicos del Código Técnico, tampoco la placa Pladur® N de 12,5 mm estará indicada para unidades verticales formados por una sola placa.

(**) No disponibles ensayos con estructuras de madera.

DATOS TÉCNICOS

| PROPIEDAD | VALORES | | | | |
|--|---|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| Color | Cara - Gris claro Dorso - Marrón (kraft) | | | | |
| Borde longitudinal Borde transversal | BA (afinado) BCT (cortado) | | | | |
| Espesor (mm) | 6,5(***) | 9,5 | 12,5 | 15 | 18 |
| Peso (kg/m ²) aprox. | 5,8 | 7,8 | 8,7 | 10,8 | 13,5 |
| Resistencia a la flexión (N) | Longitudinal | | | | |
| | ≥280 | ≥400 | >600 | >750 | >1000 |
| | Transversal | | | | |
| | ≥110 | ≥170 | ≥210 | >260 | >400 |
| Conductividad térmica (λ) (W/mK) | ≤0,25 | ≤0,25 | ≤0,25 | ≤0,25 | ≤0,25 |
| Resistencia térmica (m ² K/W) | 0,03 | 0,04 | 0,05 | 0,06 | 0,07 |
| Dilatación lineal (m/m °C) | 15x10 ⁻⁶ | 15x10 ⁻⁶ | 15x10 ⁻⁶ | 15x10 ⁻⁶ | 15x10 ⁻⁶ |
| Radio mínimo de curvatura (mm) | 600 | 1000 | 1500 | - | - |
| Dureza superficial (huella) (mm) | Ø≤20 | Ø≤20 | Ø≤20 | Ø≤20 | Ø≤20 |
| Permeabilidad al aire [m ³ /(m ² .s.Pa)] | 1,4x10 ⁻⁶ | 1,4x10 ⁻⁶ | 1,4x10 ⁻⁶ | 1,4x10 ⁻⁶ | 1,4x10 ⁻⁶ |
| Permeabilidad al vapor de agua (factor de resistencia) | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| Reacción al fuego | A2-s1, d0 | | | | |
| Normativa aplicable/certificaciones | EN-520 CE NF N | | | | |
| Clasificación (según EN-520) | A | | | | |

DIMENSIONES (MM)

| ESPESOR | LARGO x ANCHO |
|---------|--|
| 6,5 | 3000 x 1200 |
| 9,5 | 2500x1200 / 3000x1200 |
| 12,5 | 2000x600 / 2500x600 / 2000x800 / 2000x1200 / 2400x1200 / 2500x1200 / 2600 x 1200 / 2700 x 1200 / 2800x1200 / 3000x1200 / 3200x1200 |
| 15 | 2000x1200 / 2500x1200 / 2600x1200 / 2700x1200 / 2800x1200 / 3000x1200 |
| 18 | 2500x1200 / 2800x1200 / 3000x1200 |

Tolerancias (según EN-520)

- **Longitud:** +0 / -5 mm
- **Anchura:** +0 / -4 mm
- **Espesor:** ±0 / ±0,4 mm

(*) Las tolerancias de la placa de espesor 6,5 mm son de +4/-2,5 mm en su longitud y +2/3 mm en su anchura.

La tolerancia del espesor de la placa de 18 mm es de ±0,4 mm x espesor (mm).

PRESENTACIÓN

Marcado de placa y palet

- **Borde afinado:** Logo PLADUR®, tipo la placa, tipo de borde, marcado CE y sellos de calidad.
- **Canto:** Código EAN, tipo de placa, dimensiones y tipo de borde.
- **Dorso:** PLADUR® denominación de placa, Placa Yeso Laminado, tipo de placa según EN-520, espesores, EN-520, tipo de borde, reacción al fuego, made in Spain, fecha fabricación.
- **Palet:** Logo PLADUR®, logo NF, tipo de placa, dimensiones y tipo de borde.



Embalaje

| ESPESOR | UDS / LOTE | OTROS |
|----------------------|------------------------|--|
| 6,5 | 66 | Los lotes apoyan sobre calas de lino. La cantidad de calas varía según el espesor y las dimensiones de las placas. |
| 9,5 | 66 | |
| 12,5 (ancho 1200 mm) | 42 o 50 ⁽¹⁾ | |
| 12,5 (ancho 800 mm) | 48 | |
| 12,5 (ancho 600 mm) | 96 | |
| 15 | 36 | |
| 18 | 28 | |



01a01001ES - Rev. 06/2020

INSTALACIÓN

- Se debe respetar en todo momento la normativa vigente aplicable en el territorio en el que se realice la instalación.
- Atendemos a las consultas sobre instalación y ofrecemos soporte técnico a través de nuestra dirección de correo electrónico consultas@pladur.com.

ACABADOS Y DECORACIÓN

- La placa PLADUR® N está indicada para ser acabada con la gama de pastas y cintas para juntas PLADUR®. No se debe pintar la superficie antes de realizar el tratamiento de juntas. Asimismo las pequeñas reparaciones de daños menores que se efectúen sobre ella deben realizarse con la pasta de agarre PLADUR®.
- Es necesario aplicar una imprimación y dejar secar antes de pintar, texturizar o empapelar, de forma que se iguale la capacidad de absorción de la placa y la pasta. Se deben seguir cuidadosamente las instrucciones del fabricante para su aplicación.
- Es recomendable ejecutar los trabajos de decoración con la mayor premura desde que se terminan los procesos de acabado (tratamiento de juntas y tornillos) para evitar la aparición de oxidaciones en la superficie de la placa. Aplicar una imprimación en toda la superficie de la placa previene estas apariciones.
- Una adecuada ventilación del recinto que favorezca la circulación de aire minimiza la aparición de los problemas ocasionados por la humedad.
- En caso de altos niveles de humedad ambiental podría ser necesario el uso de deshumidificadores.
- Se deben seguir cuidadosamente las instrucciones del fabricante del material que se emplee como decoración.

PRECAUCIONES

- Únicamente mediante el uso combinado de los productos originales PLADUR® (placa, perfiles, pastas, tornillos y accesorios) garantizamos el cumplimiento de los resultados obtenidos en nuestros ensayos o predicciones y que ofrecemos en nuestra documentación técnica.
- Las placas instaladas y no decoradas no deben exponerse a la luz solar durante tiempos prolongados. El uso de una imprimación específica para placa de yeso laminado minimiza la aparición de oxidaciones en la superficie de las placas bajo estas circunstancias.
- Se debe mantener el recinto correctamente ventilado y evitar condensaciones que puedan dañar las placas.
- Para obtener información detallada sobre su seguridad, consulte la ficha de datos de seguridad del producto.

ALMACENAJE Y MANIPULACIÓN

- Apilar las placas siempre en horizontal, sobre una superficie plana y seca, al resguardo de la luz solar y la lluvia en un lugar de no intemperie. Los palets se apilarán formando pilas estables y perfectamente verticales.
- Para el montaje de las placas se recomienda manipularlas verticalmente, con cuidado de no golpearlas con ningún otro objeto y provocar daños. Para su transporte manual, se recomienda mantenerlas en posición horizontal y valerse de, al menos dos personas, siempre que no se empleen medios mecánicos. No se recomienda la manipulación por un único individuo de productos o conjunto de productos que superen individual o simultáneamente los 25 kg. En caso de superarlo se recomienda una manipulación colectiva o mediante la ayuda de elementos mecánicos.
- Cuando las placas sean transportadas por carretillas elevadoras, las uñas de la carretilla deberán estar abiertas al máximo.
- Las placas pueden cortarse con una sierra o de forma manual, cortando la celulosa con un elemento de filo cortante (cutter) y doblándolas sobre dicho corte. Se recomienda el uso de guantes de protección mecánica según UNE-EN 420 y UNE-EN 388. El uso de herramientas mecánicas requiere seguir cuidadosamente las instrucciones del fabricante.

Oficinas Centrales y Fábrica de Valdemoro-Madrid
Placas de Yeso Laminado, Transformados,
Perfiles y Pastas Adhesivas

El presente documento se describe según las características de los materiales PLADUR® y sus recomendaciones de montaje, actualizadas a la fecha de la edición, pudiendo por tanto variar según posibles cambios de diseño de los productos y normativas vigentes. Estas características no deben ser transferidas a otros productos y sistemas fuera de la gama PLADUR®. Este documento no tiene carácter contractual. Publicado junio de 2020. Datos válidos salvo error tipográfico o de transcripción. Quedan reservados todos los derechos, incluida la incorporación de mejoras y modificaciones. PLADUR® es una marca registrada de Pladur® Gypsum S.A.U.

consultas@pladur.com
www.pladur.com



Pladur®
Lo hace realidad

DECLARACIÓN AMBIENTAL DE PRODUCTO



DAP

Conforme con la norma NF EN 15804+A1 y la norma francesa NF EN 15804/CN



PLADUR® N13

PLADUR® N15

PLADUR® ULTRA L-TEC 13

► Fecha de realización:

Agosto 2020

Versión: 1.0



Índice

| | |
|---|----|
| Advertencia..... | 3 |
| Guía de lectura..... | 3 |
| Precaución en el uso de la DAP para la comparación de productos..... | 3 |
| 1. Información general | 4 |
| 2. Descripción de la unidad funcional y del producto..... | 5 |
| Descripción de la unidad funcional..... | 5 |
| Descripción del producto y uso del producto..... | 5 |
| Otras características técnicas no incluidas en la unidad funcional..... | 5 |
| Descripción de los principales componentes y/o materiales constituyentes del producto | 6 |
| Descripción de la vida útil de referencia | 6 |
| 3. Etapas del ciclo de vida | 7 |
| Diagrama de flujo del ciclo de vida | 7 |
| Etapas de producto, A1-A3 | 7 |
| Etapas de proceso de construcción, A4-A5 | 8 |
| Etapas de uso (excluyendo posibles ahorros), B1-B7 | 10 |
| Etapas de fin de vida, C1 - C4..... | 10 |
| Reutilización/recuperación/reciclaje potencial, D | 10 |
| 4. Información para el cálculo del análisis del ciclo de vida..... | 11 |
| 5. Resultados del análisis del ciclo de vida | 11 |
| 6. Información adicional sobre la emisión de sustancias peligrosas al aire interior, suelo y agua durante la etapa de uso | 16 |
| Aire interior..... | 16 |
| Suelo y agua..... | 17 |
| 7. Contribución del producto a la calidad de vida dentro de los edificios | 17 |
| Características del producto involucrado en la creación de las condiciones de confort higrotérmicas en el edificio | 17 |
| Características del producto involucrado en la creación de las condiciones de confort acústicas en el edificio..... | 17 |
| Características del producto involucrado en la creación de las condiciones de confort visual en el edificio | 17 |
| Características del producto involucrado en la creación de las condiciones de confort olfativo en el edificio | 17 |
| 8. Información adicional..... | 17 |
| Interpretación del ACV | 17 |
| Compromiso con el medio ambiente..... | 20 |
| ANEXO I RESULTADOS DESAGREGADOS..... | 22 |

Advertencia

La información contenida en esta declaración se ha presentado bajo la responsabilidad PLADUR® GYPSUM, S.A.U (emisor de la DAP), según la Norma NF EN 15804+A1 y el complemento nacional francés NF EN 15804/CN.

Cualquier uso, total o parcial, de la información que aparece en este documento debe ir acompañado, como mínimo, de una referencia completa al documento de la FDES original y al emisor de la misma, quién puede proporcionar una copia completa.

Guía de lectura

Detalles para una mejor lectura de la declaración o de los datos contenidos en la declaración.

Los datos de inventario se muestran cumpliendo con los requisitos de la norma NF EN 15804+A1. En las siguientes tablas -9,0E-03 debe ser leído como -9,0 x 10⁻³ (notación científica).

Las unidades utilizadas se especifican para cada flujo, y son:

- Kilogramo "kg"
- Litro "l"
- Kilovatio hora "kWh"
- Mega julio "MJ"
- Metro cuadrado "m²"
- Metro cúbico "m³"
- Dióxido de carbono equivalente "CO₂ eq"
- Unidad funcional "UF"
- Clorofluorocarbono "CFC"
- Dióxido de azufre "SO₂"
- Fosfato "PO₄³⁻"
- Antimonio "Sb"

Abreviaciones:

- DAP: Declaración Ambiental de Producto
- RCP: Reglas de Categoría de Producto
- FDES: Ficha de Declaración Ambiental y Sanitaria
- ACV: Análisis del Ciclo de Vida
- UF: Unidad Funcional
- MNA: Módulo no evaluado

Precaución en el uso de la DAP para la comparación de productos

Las DAP de productos de construcción no pueden ser comparables si no cumplen con la norma NF EN 15804+A1.

La norma NF EN 15804+A1 define en el apartado 5.3 *Comparabilidad de las DAP de productos de construcción* las condiciones en las que los productos de construcción pueden ser comparados, en base a la información proporcionada en la DAP:

"La comparación del comportamiento ambiental de los productos de construcción utilizando la información de las DAP debe basarse en el uso del producto y sus impactos en el edificio, y debe tener en cuenta el ciclo de vida completo (todos los módulos de información)."

NOTA 1: La traducción literal al francés de DAP (Declaración Ambiental de Producto) es DEP (Déclaration Environnementale de Produit). Aun así, en Francia el término FDES (Ficha de Declaración Ambiental y Sanitaria) es de uso común y contiene tanto la Declaración Ambiental como la Información de Sanidad y

Confort del producto cubierto por la FDES. Por lo tanto, la FDES es una DAP complementada con información sanitaria.

1. Información general

Fabricante: PLADUR® GYPSUM, S.A.U.
Ctra. Andalucía Km. 30.200
28343 VALDEMORO (Madrid) – Spain
www.pladur.es
Contacto: David Sáenz de Villaverde
Mail: david.saenz@pladur.com

Lugar de producción: Valdemoro – SPAIN y Gelsa – SPAIN

Tipo de DAP: De cuna a tumba, DAP individual

Tipo de verificador: Se ha realizado una verificación independiente, de acuerdo con la norma EN ISO 14025: 2.010. Esta verificación ha sido externa y llevada a cabo por una tercera parte.

Nombre del verificador: Nicolas Béalu de EVEA

Fecha de emisión del certificado de verificación: 31/08/2020

Fecha de publicación: Agosto 2020

Válido hasta: Agosto 2025

Nombre del programa: Programa INIES <http://www.inies.fr/>



Operador del programa: Asociación HQE. Avenue du Recteur Poincaré número 4 - 75016 Paris.

Nombre del producto: Esta DAP hace referencia a las placas PLADUR® N13, PLADUR® N15 y PLADUR® ULTRA L-TEC 13.

Las placas estándar PLADUR® N13, PLADUR® N15 y PLADUR® ULTRA L-TEC 13 tienen características estándar, sin prestaciones especiales.

Estos tres productos se diferencian principalmente por su espesor (12,5, 15 y 12,5 mm) y peso (8,7, 10,8 y 6,8 kg/m²).

Identificación de las reglas de Categoría de Producto: Las Reglas de Categoría de Producto (RCP) vienen definidas por la norma CEN EN 15804+A1 y el complemento nacional francés NF EN 15804/CN.

Alcance: Este ACV está basado en datos de producción del noviembre 2018 hasta octubre de 2019 correspondientes al centro de fabricación situado en España y datos de distribución del producto a Francia.

Destinación del FDES: B2B.

Los cálculos del ACV, el informe del ACV y el documento FDES han sido llevados a cabo por Anthesis Lavola.

2. Descripción de la unidad funcional y del producto

Descripción de la unidad funcional

Teniendo en cuenta las características de este producto, la unidad funcional se puede describir como:

Cubrir 1 metro cuadrado (m²) de pared y/o techo con placas de yeso PLADUR® N13, PLADUR® N15 o PLADUR® ULTRA L-TEC 13, con un peso de 9,16 kg/m², durante una vida útil de referencia de 50 años.

(Esta DAP cubre las pacas de yeso PLADUR® N13, PLADUR® N15 y PLADUR® ULTRA L-TEC 13, con un espesor de 12,5, 15 y 12,5 mm y un peso de 8,7, 10,8 y 6,8 kg/m² respectivamente).

Descripción del producto y uso del producto

Las placas de yeso PLADUR® N13, PLADUR® N15 y PLADUR® ULTRA L-TEC 13 están compuestas por componentes principales: yeso y láminas de celulosa, y se producen en un proceso de laminación en continuo.

El alma del yeso es blanca, y está cubierto con celulosa en ambos lados de la placa: el papel de la cara vista es de color crema y el de la cara opuesta es gris. Las placas también incorporan distintos aditivos que le confieren propiedades específicas al producto. Los productos están acabados con bordes afinados longitudinales y bordes transversales rectos.

Las placas PLADUR® N13, PLADUR® N15 y PLADUR® ULTRA L-TEC 13 se utilizan en unidades de albañilería interior en general y en todo tipo de obras que no requieran características especiales: techos, aislamiento, reformas y decoración, etc. Su superficie permite cualquier acabado con el tratamiento adecuado.



Otras características técnicas no incluidas en la unidad funcional

Las placas de yeso se fabrican de acuerdo con la especificación EN-520.

| Parámetro | Valor | | |
|--|-----------|-------------|---------------------|
| | PLADUR® | PLADUR® N15 | PLADUR® ULTRA L-TEC |
| Clasificación según la especificación EN-520 | A | A | A |
| Peso nominal (kg/m ²) | 8,7 | 10,8 | 6,8 |
| Espesor (mm) | 12,5 | 15 | 12,5 |
| Resistencia térmica (m ² K/W) | 0,05 | 0,06 | 0,05 |
| Reacción a fuego | A2-s1, d0 | A2-s1, d0 | A2-s1, d0 |
| Permeabilidad al vapor de agua | 10 | 10 | 10 |

Descripción de los principales componentes y/o materiales constituyentes del producto

Las placas de yeso PLADUR® N13, PLADUR® N15 y PLADUR® ULTRA L-TEC 13 están compuestas por yeso (sulfato calcio) y dos láminas de celulosa.

Las placas de yeso son paletizadas y envueltas con film estirable de polietileno.

Descripción del embalaje por unidad funcional:

| Descripción del empaquetaje | Valor (kg/FU) |
|-----------------------------|---------------|
| Pies de madera o de palet | 5,35E-02 |
| Soporte de PS | 1,19E-03 |
| Esquina de protección | 1,79E-03 |
| Film de plástico | 1,84E-03 |

Descripción de los componentes de instalación de las placas PLADUR® N13, PLADUR® N15 y PLADUR® ULTRA L-TEC 13:

| Parámetro | Valor |
|-------------------------|--|
| Pasta de juntas PLADUR® | 0,34 kg/m ² |
| Agua | 0,17 l/m ² |
| Cinta de juntas PLADUR® | 1,30 m/m ² |
| Tornillos PM PLADUR® | 15p/m ² x 1,25 g/p = 18,75 g/m ² |

Durante el ciclo de vida del producto no se ha utilizado ninguna de las sustancias enumeradas en la “Candidate List of Substances of Very High Concern (SVHC) for authorization” como sustancias peligrosas.

Descripción de la vida útil de referencia

La vida útil de referencia de las placas ha sido estimada en por lo menos 50 años de acuerdo con la Norma 15.686, en el caso en que se cumplan las condiciones indicadas en el embalaje, transporte, almacenamiento, instalación, uso, mantenimiento y reparación.

Se ha considerado una vida útil de referencia de 50 años porque las placas serán utilizadas en edificios y éstos tienen una vida útil de referencia estimada de 50 años.

| Parámetro | Valor |
|---|--|
| Vida útil de referencia | 50 años |
| Propiedades declaradas del producto (en la puerta) y acabados, etc. | El producto declarado tiene las propiedades determinadas por la especificación EN-520 y está certificado por la CE. |
| Parámetros para la aplicación (si así lo indica el fabricante), incluidas las referencias a las prácticas adecuadas. | El producto se aplicará de acuerdo con las instrucciones del fabricante. |
| Calidad de trabajo asumida, cuando se instala de acuerdo con las instrucciones del fabricante | Se considera que la calidad del trabajo cumple con la EN-520. |
| Entorno exterior (para aplicaciones exteriores), por ejemplo, intemperie, contaminantes, exposición a rayos UV y viento, orientación del edificio, sombreado, temperatura | No aplica |
| Entorno interior (para aplicaciones en interiores), por ejemplo, temperatura, humedad, exposición a sustancias químicas | El producto está sujeto a etiquetado sanitario sobre la calidad del aire interior |
| Condiciones de uso, por ejemplo, frecuencia de uso, exposición mecánica | El producto se utilizará en condiciones que cumplan con las instrucciones del fabricante y las normas mencionadas anteriormente. |
| Mantenimiento, por ejemplo, frecuencia, tipo y calidad requeridos y reemplazo de componentes | No es necesario ningún mantenimiento al utilizar el producto. |

3. Etapas del ciclo de vida

Diagrama de flujo del ciclo de vida



Etapa de producto, A1-A3

Descripción de la etapa

La etapa de producto incluye la extracción de materias primas, la producción de aditivos, el transporte desde la cantera o el proveedor de aditivos hasta la planta de procesado y el proceso productivo.

A1 Suministro de materias primas

Este módulo tiene en cuenta el suministro y tratamiento de todas las materias primas y la energía que se producen aguas arriba del proceso de fabricación. En particular, cubre el suministro del alma de yeso, las láminas de celulosa especial y aditivos.

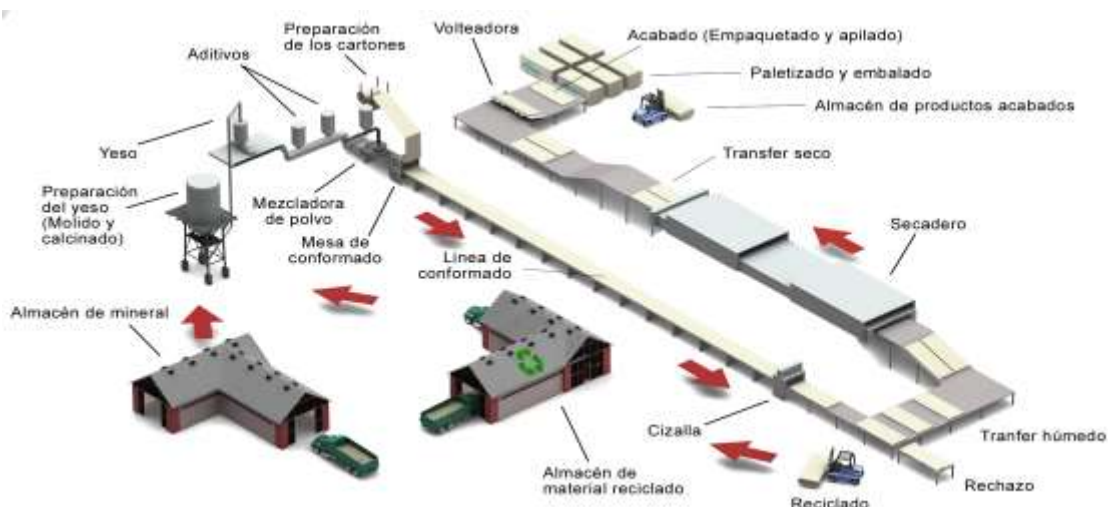
A2 Transporte

Las materias primas son transportadas desde la cantera y los proveedores hasta la planta de fabricación. El modelo incluye el transporte por carretera de cada una de las materias primas.

A3 Fabricación

Este módulo incluye la energía y el consumo de agua en el proceso de fabricación, así como la gestión de los residuos resultantes del proceso y la producción del envasado.

Diagrama de flujo del proceso de fabricación



Las materias primas se mezclan de manera homogénea en el mixer para formar la pasta de yeso, que es descargada a través de unas secciones de salida sobre una lámina de papel que está avanzando sobre la banda de formación. Paralelamente, se alimenta una segunda lámina de papel para formar la placa de yeso laminado. La placa continúa avanzando sobre la línea de producción hasta que adquiere la dureza suficiente para ser cortada. Posteriormente se somete a secado en un proceso continuo. Por último, se apila, paletiza y envuelve con film para formar el producto empaquetado.

El proceso de fabricación permite la incorporación de material reciclado al inicio del proceso productivo.

Etapa de proceso de construcción, A4-A5

Descripción de la etapa

El proceso de construcción se divide en dos módulos: *A4, transporte a la obra* y *A5, instalación*.

A4 Transporte a la obra

En este módulo se incluye el transporte desde la puerta de la fábrica hasta la obra.

La distribución del producto se realiza principalmente a España, Francia y Portugal, pero como el ámbito geográfico de FDES es Francia, se considera un escenario de mercado 100% francés.

El transporte se calcula en un escenario que incluye los siguientes parámetros:

| Parámetro | Valor |
|--|--|
| Tipo de combustible y consumo del vehículo o tipo de vehículo utilizado para el transporte, por ejemplo, camión, barco, etc. | Camión de 16-32 toneladas de capacidad EURO VI |
| Distancia hasta la obra | Las placas PLADUR® N13, PLADUR® N15 y PLADUR® ULTRA L-TEC 13 se fabrican en España (concretamente en el centro de producción situado en Valdemoro, Madrid y Gelsa, Zaragoza). Considerando el mercado francés, la distancia de referencia es de 540 km. |
| Capacidad de uso (incluyendo el retorno del transporte sin carga) | 38% de la capacidad, en volumen 100% de retornos en vacío |
| Densidad aparente del producto transportado | 675 kg/m ³ |

A5 Instalación en el edificio

En este módulo se incluye los materiales necesarios para la instalación del producto en el edificio.

| Parámetro | Valor |
|---|---|
| Instrucciones de instalación | Está indicado instalar las placas PLADUR® N13, PLADUR® N15 y PLADUR® ULTRA L-TEC 13 utilizando la pasta de juntas PLADUR® que tiene que ser mezclada con agua para obtener una pasta de juntas apropiada) y cinta de juntas PLADUR® |
| Materiales secundarios para la instalación (especificados por tipo) | Pasta de juntas PLADUR®: 0,34 kg/m ² de placa Cinta de juntas PLADUR®: 1,30 m/m ² de placa Tornillos: 15 tornillos de 1,25 g por m ² de placa |
| Consumo de agua | 0,17 litros/m ² La pasta de juntas debe mezclarse con agua limpia en la cantidad recomendada en un recipiente limpio y se agita con un batidor mecánico. Se recomienda dejar reposar la pasta obtenida entre 5 y 10 minutos antes de la aplicación. |
| Consumo de otros recursos | Ninguno |
| Descripción cuantitativa del tipo de energía (mix regional) y su consumo durante el proceso de instalación | No se requiere energía para la instalación del producto |
| Desperdicio de materiales en el lugar de la obra, antes del procesado de residuos, generados durante la instalación del producto (especificados por tipo) | 5% del producto y materiales auxiliares como residuos de la instalación: Placas: 0,05 m ² Pasta de juntas PLADUR®: 0,017 kg Cinta de juntas PLADUR®: 0,065 m Tornillos: 0,75 g Residuos de embalaje: Madera: 0,055 kg PS: 0,0012 kg Esquinas de protección: 1,88E-03 kg Film de plástico: 1,93E-03 kg |
| Flujos de salida de materiales (especificados por tipo) resultantes del procesado de residuos en el lugar de la obra, por ejemplo, durante la recogida para su reciclaje, recuperación energética o vertido (especificando la ruta) | Residuos de placas de yeso y materiales de instalación: vertedero Residuos de embalajes. Soportes PS, Esquinas de protección y film de plástico: vertedero Residuos de envases. Madera: recogida para el reciclaje |
| Emisiones directas a aire, suelo o agua | No hay emisiones directas al aire, suelo o agua |

Etapa de uso (excluyendo posibles ahorros), B1-B7

Descripción de la etapa

La etapa de uso del producto se divide en siete módulos:

- B1: Uso o aplicación del producto instalado
- B2: Mantenimiento
- B3: Reparación
- B4: Sustitución
- B5: Rehabilitación
- B6/B7: Uso de energía y agua en servicio

No se requieren operaciones técnicas durante la fase de uso. Así pues, las placas de yeso no tienen impactos ambientales durante esta etapa.

Además, las placas de yeso PLADUR® N13, PLADUR® N15 y PLADUR® ULTRA L-TEC 13 están clasificadas como A+ según la etiqueta francesa de COV (Compuestos orgánicos volátiles).

Etapa de fin de vida, C1 - C4

Descripción de la etapa

En esta etapa se incluyen los siguientes módulos: C1, deconstrucción o demolición; C2, transporte hasta la planta de tratamiento de residuos; C3, procesado de residuos para su reutilización, recuperación y/o reciclaje; C4, vertido (eliminación).

Fin de vida

| Parámetro | Valor |
|--|---|
| Demolición | Se considera que las placas de yeso son demolidas utilizando herramientas que consumen diésel y durante la demolición se emiten partículas a la atmósfera. A partir de bibliografía se ha tenido en cuenta un consumo de energía y unas emisiones de partículas: Consumo de diésel: 35,9MJ/tn Emisión de partículas: 0,15 kg/tn |
| Proceso de recogida de residuo especificado por tipo | 9,53 kg/m ² recogidas con residuos de construcción mezclados (placas y materiales de instalación) |
| Sistema de recuperación especificado por tipo | 0 kg para reutilización, reciclaje o recuperación de energía (0%) |
| Vertido especificado por tipo | 9,53 kg al vertedero (100%) |
| Hipótesis para el Desarrollo del escenario (por ejemplo, transporte) | Los residuos son transportados 50 km en un camión de 16-32 toneladas EURO VI. |

Reutilización/recuperación/reciclaje potencial, D

El módulo D, de beneficios y cargas más allá de los límites del sistema, no ha sido evaluado

4. Información para el cálculo del análisis del ciclo de vida

| | |
|---|---|
| RCP utilizadas | La norma CEN EN 15804+A1 y el complemento nacional francés NF EN 15804/CN proporcionan las reglas de definición de categoría de producto (RCP) |
| Límites del sistema | De cuna a tumba Etapas: A1-3, A4-5, B1-7, C1-4 Módulo D no evaluado |
| Asignación | Los criterios de asignación se basan en la masa y los m ² de la placa de yeso producida |
| Representatividad geográfica y temporal de los datos primarios | La representatividad es: <ul style="list-style-type: none"> - Geográfica: fabricada en España para el mercado francés - Temporal: fabricada durante el período de noviembre 2018 a octubre 2019 <p>Los datos primarios se han obtenido de la empresa (2018 y 2019) y los datos genéricos de Ecoinvent 3.5 (cut-off)</p> <p>Software utilizado: Simapro (v9.0)</p> |
| Variabilidad de los resultados | La placa de yeso cubierta por esta DAP proviene de un promedio aritmético de las placas PLADUR® N13, PLADUR® N15 and PLADUR® ULTRA L-TEC 13 producidas en ambos centros de fabricación. |
| | Tienen la misma composición y proceso de producción y sólo se diferencian en la proporción de algunos componentes. Además, parte del contenido proviene del proceso de reciclaje interno. Sus impactos ambientales difieren como máximo de un 18% (ver anexo I). |
| | El rendimiento medioambiental se presenta como una media aritmética entre las dos placas PLADUR® N13 y PLADUR® N15, producidas en las dos plantas de fabricación PLADUR® Gypsum S.A.U y la placa PLADUR® ULTRA L-TEC 13, producida en una de estas plantas. |

5. Resultados del análisis del ciclo de vida

En las tablas siguientes se resumen los resultados de la unidad funcional. Los resultados desglosados para cada producto están en el anexo I.

| IMPACTOS AMBIENTALES | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|--------------------------|-----------------------|----------------|-------------|--------------|------------------|---------------|----------------|-------------------|-------------------------------|----------------------------|-------------|--------------------------------|---------------|----------------------------|----------------------------|-------------|---------------------|---|
| Impactos ambientales | Etapa de producto | Etapa de construcción | | | Etapa de uso | | | | | | | | Etapa de fin de vida | | | | | Ciclo de vida total | D Beneficios y cargas más allá del límite del sistema |
| | Total A1 - A3 producción | A4 Transporte | A5 Instalación | Total A4-A5 | B1 Uso | B2 Mantenimiento | B3 Reparación | B4 Sustitución | B5 Rehabilitación | B6 Uso de energía en servicio | B7 Uso de agua en servicio | Total B1-B7 | C1 Deconstrucción o demolición | C2 Transporte | C3 Tratamiento de residuos | C4 Eliminación de residuos | Total C1-C4 | | |
| Calentamiento global kg CO ₂ eq/UF | 2,93E+00 | 7,86E-01 | 3,59E-01 | 1,15E+00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3,13E-02 | 7,67E-02 | 0 | 1,23E-01 | 2,32E-01 | 4,31E+00 | N.C |
| Agotamiento de la Capa de Ozono kg CFC 11 eq/UF | 2,11E-07 | 1,45E-07 | 4,05E-08 | 1,86E-07 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5,69E-09 | 1,42E-08 | 0 | 2,94E-08 | 4,92E-08 | 4,47E-07 | N.C |
| Acidificación del suelo y el agua kg SO ₂ eq/UF | 5,73E-03 | 1,88E-03 | 2,46E-03 | 4,35E-03 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2,38E-04 | 1,84E-04 | 0 | 2,81E-01 | 2,81E-01 | 2,91E-01 | N.C |
| Eutrofización kg (PO ₄) ³⁻ eq/UF | 1,41E-03 | 2,52E-04 | 2,50E-04 | 5,02E-04 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5,15E-05 | 2,46E-05 | 0 | 1,37E-04 | 2,13E-04 | 2,12E-03 | N.C |
| Formación de ozono fotoquímico Etileno eq/UF | 3,95E-04 | 1,20E-04 | 1,46E-04 | 2,65E-04 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6,26E-06 | 1,17E-05 | 0 | 1,12E-02 | 1,13E-02 | 1,19E-02 | N.C |
| Agotamiento de recursos abiótico (elementos) kg Sb eq/UF | 2,73E-06 | 2,41E-06 | 1,07E-06 | 3,48E-06 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1,06E-08 | 2,35E-07 | 0 | 1,46E-07 | 3,91E-07 | 6,59E-06 | N.C |
| Agotamiento de recursos abiótico (fósiles) MJ/UF | 2,72E+01 | 1,20E+01 | 4,70E+00 | 1,67E+01 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4,50E-01 | 1,17E+00 | 0 | 2,88E+00 | 4,50E+00 | 4,84E+01 | N.C |
| Contaminación del agua - m ³ /UF | 8,13E-01 | 2,65E-01 | 1,44E-01 | 4,09E-01 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 9,67E-03 | 2,59E-02 | 0 | 1,51E-01 | 1,86E-01 | 1,41E+00 | N.C |
| Contaminación del aire - m ³ /UF | 4,80E+02 | 7,81E+01 | 6,51E+01 | 1,43E+02 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3,96E+01 | 7,62E+00 | 0 | 1,16E+03 | 1,21E+03 | 1,83E+03 | N.C |

USO DE RECURSOS

| Uso de recursos | Etapa de producto | Etapa de construcción | | | Etapa de uso | | | | | | | | Etapa de fin de vida | | | | | Ciclo de vida total | D Beneficios y cargas más allá del límite del sistema |
|--|--------------------|-----------------------|----------------|-------------|--------------|------------------|---------------|----------------|-------------------|-------------------|----------------|-------------|-------------------------------|---------------|----------------------------|----------------------------|-------------|---------------------|---|
| | A1 - A3 producción | A4 Transporte | A5 Instalación | Total A4-A5 | B1 Uso | B2 Mantenimiento | B3 Reparación | B4 Sustitución | B5 Rehabilitación | B6 Uso de energía | B7 Uso de agua | Total B1-B7 | C1 Deconstrucción/ Demolición | C2 Transporte | C3 Tratamiento de residuos | C4 Eliminación de residuos | Total C1-C4 | | |
| Uso de energía primaria renovable excluyendo los recursos de energía primaria renovable utilizada como materia prima - MJ/UF | 3,49E+00 | 1,29E-01 | 1,06E+00 | 1,19E+00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2,66E-03 | 1,26E-02 | 0 | 9,28E-02 | 1,08E-01 | 4,79E+00 | N.C |
| Uso de energía primaria renovable utilizada como materia prima - MJ/UF | 6,12E+00 | 0,00E+00 | 5,03E-01 | 5,03E-01 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 6,63E+00 | N.C |
| Uso total de energía primaria renovable (energía primaria y recursos de energía primaria renovable utilizada como materia prima) - MJ/UF | 9,62E+00 | 1,29E-01 | 1,56E+00 | 1,69E+00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2,66E-03 | 1,26E-02 | 0 | 9,28E-02 | 1,08E-01 | 1,14E+01 | N.C |
| Uso de energía primaria no renovable, excluyendo los recursos de energía primaria no renovable utilizada como materia prima - MJ/UF | 3,10E+01 | 1,29E+01 | 5,08E+00 | 1,80E+01 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4,87E-01 | 1,26E+00 | 0 | 3,12E+00 | 4,86E+00 | 5,38E+01 | N.C |
| Uso de energía primaria no renovable utilizada como materia prima - MJ/UF | 1,30E-01 | 0,00E+00 | 5,43E-02 | 5,43E-02 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 1,84E-01 | N.C |
| Uso total de energía primaria no renovable (energía primaria y recursos de energía primaria no renovable utilizada como materia prima) - MJ/UF | 3,11E+01 | 1,29E+01 | 5,13E+00 | 1,80E+01 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4,87E-01 | 1,26E+00 | 0 | 3,12E+00 | 4,86E+00 | 5,40E+01 | N.C |
| Uso de materiales secundarios | 3,64E-01 | 0,00E+00 | 1,82E-02 | 1,82E-02 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 3,82E-01 | N.C |
| Uso de combustibles secundarios renovables - MJ/FU | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | N.C |
| Uso de combustibles secundarios no renovables - MJ/FU | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | N.C |
| Uso de agua dulce – m3/UF | 1,45E-02 | 1,98E-03 | 2,74E-03 | 4,72E-03 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6,00E-05 | 1,93E-04 | 0 | 2,83E-03 | 3,08E-03 | 2,23E-02 | N.C |

CATEGORÍAS DE RESIDUOS

| Categoría de residuos | Etapa de producto | Etapa de construcción | | | Etapa de uso | | | | | | | | Etapa de fin de vida | | | | Ciclo de vida total | D Beneficios y cargas más allá del límite del sistema | |
|--|--------------------|-----------------------|----------------|-------------|--------------|------------------|---------------|----------------|-------------------|-------------------|----------------|-------------|-------------------------------|---------------|----------------------------|----------------------------|---------------------|---|-------------|
| | A1 - A3 producción | A4 Transporte | A5 Instalación | Total A4-A5 | B1 Uso | B2 Mantenimiento | B3 Reparación | B4 Sustitución | B5 Rehabilitación | B6 Uso de energía | B7 Uso de agua | Total B1-B7 | C1 Deconstrucción/ Demolición | C2 Transporte | C3 Tratamiento de residuos | C4 Eliminación de residuos | | | Total C1-C4 |
| Residuos peligrosos vertidos -kg/FU | 1,24E-01 | 7,61E-03 | 1,98E-02 | 2,75E-02 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2,66E-04 | 7,43E-04 | 0 | 4,96E-02 | 5,06E-02 | 2,02E-01 | N.C |
| Residuos no peligrosos vertidos -kg/FU | 4,15E-01 | 6,42E-01 | 2,65E-01 | 9,07E-01 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1,76E-03 | 6,26E-02 | 0 | 9,57E+00 | 9,64E+00 | 1,10E+01 | N.C |
| Residuos radiactivos vertidos - kg/FU | 8,54E-05 | 8,21E-05 | 2,09E-05 | 1,03E-04 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3,18E-06 | 8,01E-06 | 0 | 1,76E-05 | 2,88E-05 | 2,17E-04 | N.C |