

PROPUESTA DE UN NUEVO PRODUCTO DE POLIPROPILENO RECICLADO CON BASE DE YESO Y SU APLICACIÓN EN TRASDOSADOS AUTOPORTANTES

TRABAJO FIN DE GRADO

Autor Jorge Bazán González

Tutora Gladys Narbona Reina

Equipo Docente P. Rubio de Hita, E. D. Fernández Nieto, D. Frustaglia, F. Pérez, I. Vioque



Grupo TFG H
Curso 2021 - 2022
Escuela Técnica Superior de Sevilla
Grado en Fundamentos de la Arquitectura

ÍNDICE

0	PRÓLOGO	5
	AGRADECIMIENTOS.....	6
	RESUMEN, PALABRAS CLAVES.....	7
	ABSTRACT, KEY WORDS	8
1	INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS.....	9
2	EL PLÁSTICO	12
	2.1 ¿QUÉ SON LOS PLÁSTICOS?	
	2.2 ¿CÓMO SE PRODUCEN?	
	2.3 TIPOS DE PLÁSTICO	
	2.4 DESAFÍO DE LOS PLÁSTICOS EN EL MEDIO AMBIENTE	
	2.5 EL RECICLAJE EN LA ACTUALIDAD	
	2.6 IMPACTO DEL PLÁSTICO EN LA SALUD	
3	USOS DE FIBRAS DE PLÁSTICO EN LA CONSTRUCCIÓN.....	25
	3.1 MATERIAL DE ESTUDIO: FIBRAS DE ESCOBA	
	3.2 MODELO UTILIZADO: PROPIEDADES	
	3.3 PP Y PET RECICLADOS EN LA CONSTRUCCIÓN	
4	HIPÓTESIS Y METODOLOGÍA.....	32
	4.1 GRANULOMETRÍA Y PORCENTAJES DE ADICIÓN	
	4.2 CÁLCULO DE LA CANTIDAD DE ADICIÓN	
	4.3 ELABORACIÓN DE PROBETAS	
	4.4 DESMOLDADO DE PROBETAS	
	4.5 RESULTADOS DE LOS ENSAYOS	

5	ANÁLISIS DE DATOS	39
	5.1 PESO	
	5.2 DENSIDAD APARENTE	
	5.3 ENSAYOS MECÁNICOS	
	5.3.1 RESISTENCIA A LA FLEXIÓN	
	5.3.2 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	
	5.4 CONCLUSIONES	
6	DISEÑO DEL PRODUCTO PROPUESTO	59
7	APLICACIÓN EN UN CASO PRÁCTICO	64
	7.1 APLICACIÓN CASO PRÁCTICO	
	7.2 IMPACTO MEDIOAMBIENTAL	
	7.3 CONCLUSIONES FINALES	
8	BIBLIOGRAFÍA	71
9	ANEXOS	¿?

AGRADECIMIENTOS

A mi tutora Gladys Narbona Reina y a todo el equipo docente, Paloma Rubio de Hita, Enrique Domingo Fernández Nieto, Diego Frustaglia, Filomena Pérez Gálvez e Ignacio Vioque Romero, por el tiempo dedicado, esfuerzo realizado y la buena voluntad mostrada.

Al personal del Laboratorio de Construcción de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Sevilla por el trabajo realizado en toda la parte de los ensayos y por estar siempre dispuestas a ayudar.

A mis compañeros de grupo, María José Aguilar Muñoz y Andreas de Sousa, por su compañerismo y colaboración en el trabajo realizado.

A mi familia y amigos por todo el apoyo recibido durante esta etapa.

RESUMEN, PALABRAS CLAVES

El objetivo de este trabajo de fin de grado es investigar los comportamientos físicos y mecánicos de una matriz conglomerante de yeso, la cual es aditivada con fibras de polipropileno recicladas provenientes de los filamentos de los cabezales de escobas.

Una vez concluido el análisis inicial se propone la elaboración de un nuevo material de construcción ecoeficiente conformado por el mortero de yeso y por dicho residuo reciclado, haciendo hincapié en la viabilidad del mismo, así como en sus propiedades y en su carácter sostenible. Para ello se realizan ensayos mecánicos de rotura a flexión y a compresión en laboratorio, así como estudios de peso y densidad aparente del compuesto, a través de distintos porcentajes de material añadido (1,5%; 3% y 6% de adición de fibras de polipropileno).

El análisis comparativo de los resultados mostró la viabilidad del nuevo producto en el sector de la construcción, concretamente en placas de yeso laminado utilizadas para componer trasdosados autoportantes, debido a sus mejoradas características mecánicas con respecto al yeso de referencia, así como a su reducido impacto ambiental debido al carácter reciclado de las fibras de polipropileno.

PALABRAS CLAVES: Fibras de PET, reciclaje en la construcción, placa de yeso, construcción ecoeficiente, ensayos mecánicos.

ABSTRACT, KEY WORDS

This final degree project's goal is to investigate a gypsum binder matrix added with recycled polypropylene fibers derived from brooms head strands physical and mechanic behaviours.

Once the inicial analysis is concluded, a new construction eco-efficient material conformed by gypsum mortar and the recycled fibers is proposed. This new material should benefit from the recycled compounds viability as of its characteristics and sustainable nature. In order to achieve this, mechanics compression and flection testings were elaborated in laboratory, as well as weight and density studies, made by the addition of different percentajes of addition.

The comparative analysis of the results showed the viability of the new product in the construction sector, concretely, in prefabricated gypsum boards, used to compose self-bearing panelling, as its improved mechanical characteristics and its reduced ambiental impact due to the recycled nature of the polypropylene fibers.

KEY WORDS: PT fibers, recycling in construction, gypsum boards, eco-efficient building, mechanical testing.

1-INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

El contenido que se expondrá en los puntos 1 a 4 (Pág. 11-38) corresponde a la parte elaborada en grupo junto a los compañeros María José Aguilar Muñoz y Andreas de Sousa, por lo que el contenido de esta sección será común en los tres trabajos.

INTRODUCCIÓN

El **plástico** ha tenido un **crecimiento exponencial** en el último siglo y se puede encontrar en la **gran mayoría de productos** de nuestra sociedad, desde envases a vehículos. El material tiene **muchas características y cualidades excelentes** que son bastante difíciles de conseguir de forma natural y sus **bajos costes de fabricación** elevan aún más la demanda. Desgraciadamente, la **gran mayoría de plástico** **proviene de recursos no renovables** y si sumamos su método de fabricación hace que sea uno de los mayores factores de **contaminación**. Además, debido a la alta demanda la cantidad de residuos plásticos que encontramos en el medio natural está **aumentando anualmente**.

Este trabajo de investigación está primordialmente dividido en **dos partes**. En una **primera parte** se refleja la imagen de la **situación actual** acerca de la demanda, consumo y desechos plásticos.

La **segunda parte** del trabajo consistirá en estudiar un método viable para el **reciclaje** de dos plásticos, en específico el **polipropileno y el PET**, y así disminuir el impacto perjudicial que tienen en el medio ambiente. Esto se realizará mediante la **incorporación** de dichos materiales en **conglomerados** del sector de la construcción, en concreto en esta investigación será **el yeso**.

OBJETIVOS GENERALES Y ESPECÍFICOS

Objetivos Generales

- Informar del **estado actual** del consumo y demanda de plásticos.
- Sensibilización ante el **impacto ambiental**.
- **Presentar actuaciones** existentes para su **reciclado**.

Objetivos específicos

- **Estudio** en detalle del **PET** como material reciclado.
- **Reutilización del material** reciclado dentro del ámbito de la construcción.
- Examinar las **propiedades adquiridas** del material.
- **Emplear el material** en un **sistema constructivo** en concreto, y así disminuir la huella ecológica.

2-EL PLÁSTICO



[Fig. 01] Problemática producción masiva de plástico. Fuente: istock

EL PLÁSTICO

2.1 ¿QUÉ SON LOS PLÁSTICOS?

La naturaleza del término **“plástico”** viene del latín “plasticus”, y este por su parte del griego “plastikos”, del griego “plastikos” que manifiesta una de sus principales rasgos: **el poder ser moldeado**. [1]

“Los plásticos son **materiales orgánicos**, igual que la madera, el papel o la lana. Las **materias primas** que se utilizan para producir plástico **son productos naturales** como la celulosa, el carbón, el gas natural, la sal y, por supuesto, el petróleo.” [2]

La humanidad se ha esforzado por desarrollar materiales que ofrezcan beneficios que no se encuentran en la naturaleza. De ahí, la **creación de una variedad de materiales sintéticos**. El desarrollo de los plásticos comenzó con la utilización de materiales naturales con propiedades plásticas como el caucho. Por consiguiente, fue la **modificación química** de estos **materiales naturales**, como el crudo, para conseguir plásticos que usamos en la actualidad. [3]

2.2 ¿CÓMO SE PRODUCE EL PLÁSTICO?

En su forma base el plástico puede ser de dos tipos **“sintético”** o **“de base animal”**. El petróleo crudo, gas natural o el carbón son los ingredientes básicos para el plástico sintético, mientras para el plástico de base animal provienen de productos renovables como grasas y aceites vegetales, bacterias, carbohidratos... [Fig. 02].

En la **actualidad** gran parte de los **plásticos** provienen de los siguientes pasos:

1. **Extracción de materias primas**, en su mayoría derivadas del petróleo crudo, de gas natural, y del carbón, pero en menor medida.

Dicho proceso es una de las **principales razones de la alta contaminación** que se produce en el ciclo de vida de los plásticos, debido a que la explotación de tales recursos naturales genera un impacto ambiental y natural, a lo que se suma que la mayoría de estas fuentes son no renovables.

2. El siguiente paso es el **proceso de refinación** de las materias primas extraídas para crear productos químicos útiles como los **monómeros**, componentes básicos de los polímeros. En un horno se calienta el petróleo crudo, donde luego se envía el petróleo crudo pesado para ser separado en fracciones, unidades más livianas, en la unidad de destilación. Uno de ellos se llama "Naphtha", componente básico para crear plástico.

3. Las fracciones refinadas anteriormente pasan por un proceso denominado **polimerización** que consiste en la unión química de distintos monómeros originados del etileno, propileno, butileno transformándolos en **polímeros**. Este proceso los convierte en hidrocarburos de mayor peso molecular. La polimerización se puede conseguir de dos maneras:

- Por adición:

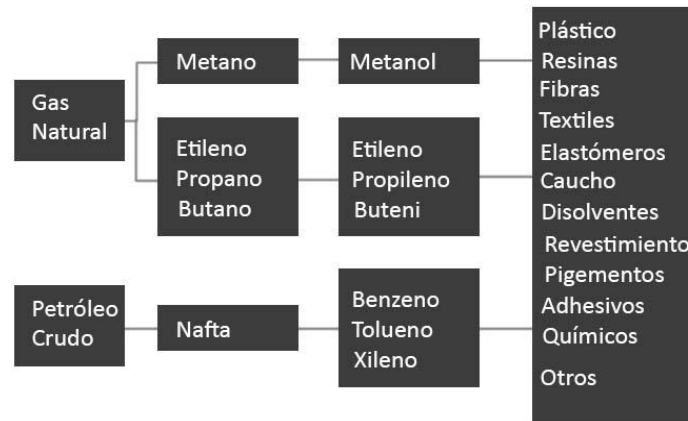
Proceso conocido como polímeros de crecimiento en cadena. Un monómero se ensambla con el consecutivo, dominado dímero, y este con el siguiente. Los polímeros por adición más frecuentes son poliestireno, polietileno y cloruro de polivinilo.

- Por condensación:

Proceso conocido como crecimiento escalado de polímeros. Se agrega una cadena existente a otra y esto se consigue mediante la extracción de moléculas pequeñas como el agua. Los polímeros más frecuentes son el nailon y el poliéster.

4. Cada plástico tiene su formulación diferente conseguido mediante la **mezcla por fusión**, en el cual, la mezcla se calienta pasando de estado cristalino a viscoso. Normalmente, se usa una máquina de extrusión para comprimir la mezcla y luego cortarla en gránulos.

5. Por último, quedaría **procesar los gránulos** en objetos de plásticos. Cada diseño necesitará ser procesado de forma diferente de acuerdo a su forma, color y tamaño. [4]



[Fig. 02] Fuentes para la producción de plástico. Fuente: EP

2.3 TIPOS DE PLÁSTICO

Dentro de la amplia familia de los plásticos encontramos que están principalmente subdivididos en dos grandes grupos: **termoplásticos** y **termoestables** [Fig. 03]. La cualidad que lo diferencian es en su vida útil, en donde, los **termoplásticos** pueden fundirse al calentarse y endurecerse al enfriarse mientras que los **termoestables** no pueden volver a fundirse una vez calentado. Esto permite a los **termoplásticos** ser reciclados con mayor facilidad y de ahí ser reutilizado.



Termoplásticos

son una familia de plásticos que pueden fundirse cuando se calientan y endurecerse cuando se enfrían. Estas características, de las cuales su nombre, son reversibles. Es decir, se pueden recalentar, moldear varias veces.

- | | |
|-------------------------------|----------------------------------|
| Poliétileno (PE) | Policarbonato (PC) |
| Polipropileno (PP) | Polimetacrilato de metilo (PMM) |
| Policloruro de vinilo (PVC) | Elastómeros termoplásticos (TPE) |
| Poliétileno tereftalato (PET) | Poliarilsulfona (PSU) |
| Poliestireno (PS) | Fluoropolímeros |
| Poliestireno expandido (EPS) | PEEK |
| ABS | POM |
| SAN | PBT |
| Poliamidas (PA) | EVOH |
| | Etc. |



Termoestables

son una familia de plásticos que experimentan un cambio químico cuando se calientan, creando una red tridimensional. Una vez calentados y moldeados, no se pueden volver a fundir y cambiar de forma.

- | | |
|-------------------------|------------------------------|
| Poliuretano (PUR) | Silicona |
| Poliésteres insaturados | Resinas fenol - formaldehído |
| Resinas epoxi | Resinas urea - formaldehído |
| Resina de melamina | Resinas fenólicas |
| Ésteres de vinilo | Resinas acrílicas |
| | Etc. |

[Fig. 03] Familias de plásticos. Fuente: PlasticsEurope Market Research Group (PEMRG) and Conversion Market & Strategy GmbH. PlasticsEurope, "Plastics- the facts (2020)".

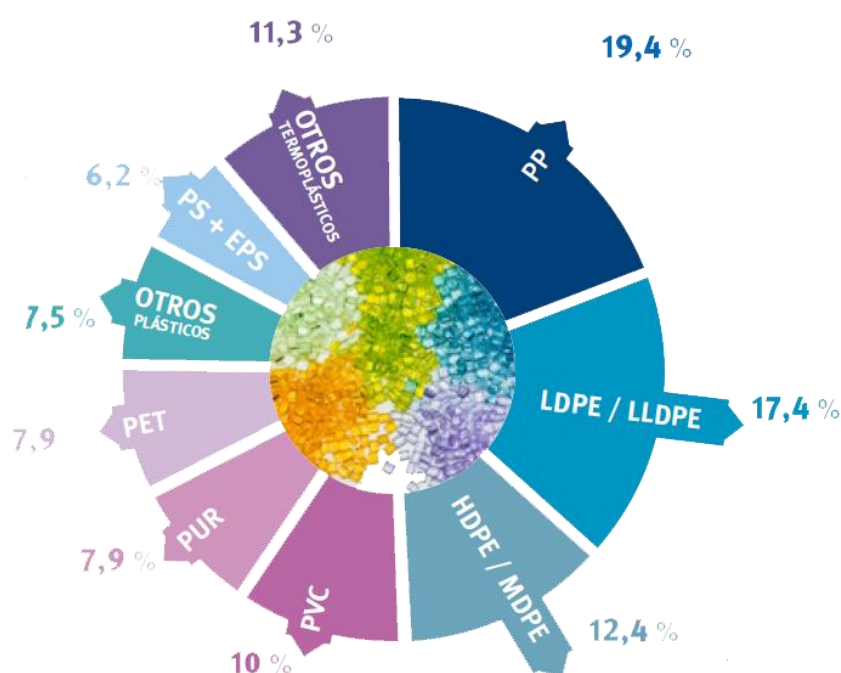
POLIPROPILENO Y PET

Entre los **plásticos más demandados** nos encontramos con el **polipropileno (en abreviatura, PP)** y el **tereftalato de polietileno (o PET)**. Son plásticos utilizados principalmente como envases de alimentos, botellas, tapones de botellas y productos de limpieza y entre ellos las **fibras de las escobas**. Las **propiedades de ambos plásticos son bastante parecidos**, pero con ciertas diferencias. Ambos materiales son bastante flexibles, pero predomina el PET en el mercado de las botellas debido a su mayor maleabilidad [Fig. 04]. El PP presenta diferentes variedades en cuanto a su estructura y morfología convirtiéndolo en un polímero de mayor complejidad.

Como **resultado** durante el proceso de reciclado se produce una gran pérdida de propiedades y conlleva que no sean autorizados por la Agencia Europea de Seguridad alimentaria EFSA los productos procedentes de envases alimentarios no pueden ser reciclados para la misma aplicación.

Esto significa que las aplicaciones finales a las que se destina el PP reciclado procedente de envases alimentarios son productos de otros sectores con menor valor añadido "downcycling", razón por la cual muchas escobas que utilizan para sus fibras plástico reciclado son de PP. En cambio, el PET es uno de los mejores polímeros reciclados, ya que no tiene el mismo problema.

Está autorizado por la Agencia Europea de Seguridad alimentaria EFSA a ser reciclado con aplicación de productos con contacto alimentario. Esto permite que el PET reciclado sea un material utilizado en aplicaciones de alto valor añadido "upcycling" como, por ejemplo, botellas para bebidas o envases termoformados para el envasado de alimentos. [5][6]

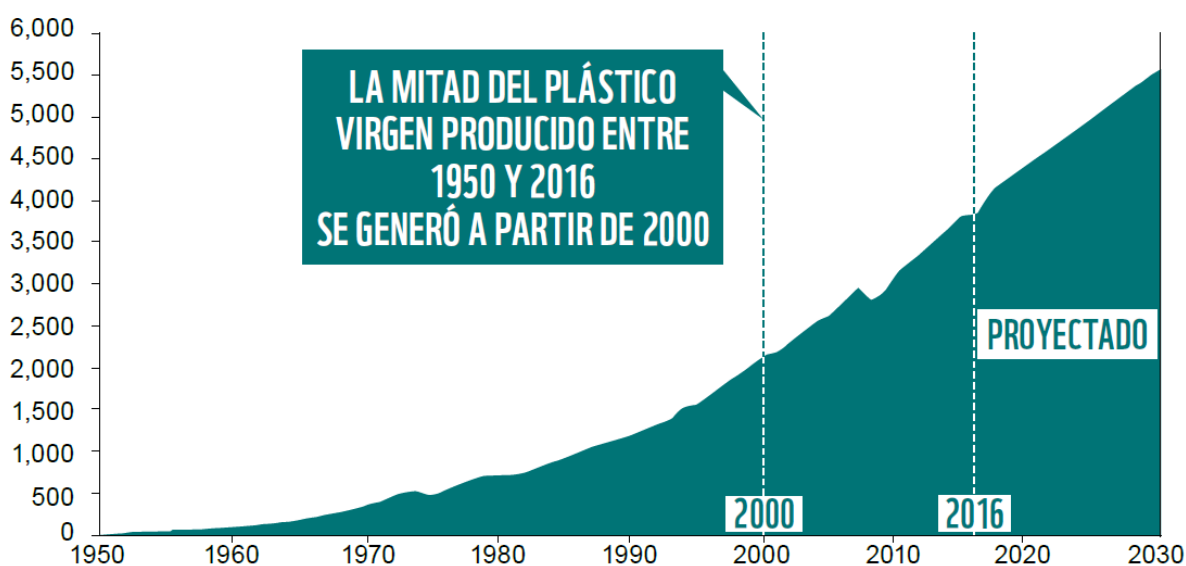


[Fig. 04] Distribución de la demanda de plásticos. Fuente: Plastics Europe.

2.4 DESAFÍOS DE LOS PLÁSTICOS EN EL MEDIO AMBIENTE

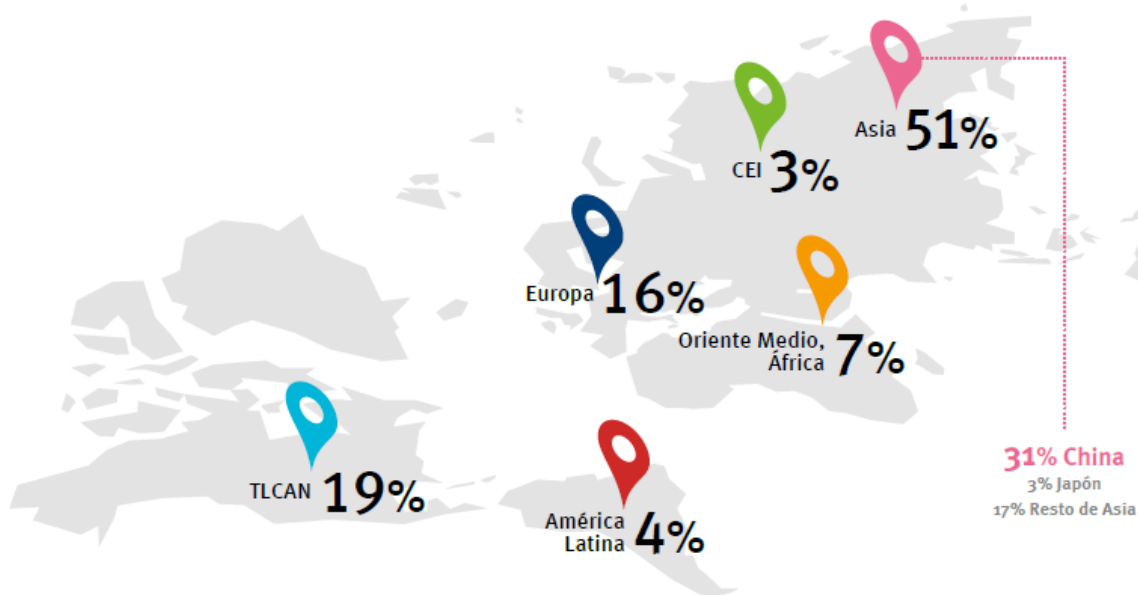
En **nuestra sociedad**, mires donde mires el plástico se **ha arraigado en nuestro día a día**. Lo encontramos en la ropa, en los envases, en los coches y juguetes que compramos, además se utiliza en la construcción y poco a poco hasta en la comida que comemos. **La gran flexibilidad de productos** que se pueden elaborar a partir del plástico es sin duda uno de sus mayores ventajas, sin embargo, **se fabrican principalmente a partir de hidrocarburos fósiles y comúnmente no son biodegradables**. Consecuentemente, se acumula en vez de descomponerse en el entorno natural o en vertederos. **Una de las formas más comunes en eliminar permanentemente los residuos plásticos es a través de la combustión o la pirólisis**, es decir, un proceso térmico destructivo. Por ese motivo, los desechos plásticos con la contaminación casi permanente del medio ambiente natural es una preocupación creciente. [7]

La **primera gran producción de plástico se realizó en 1907** por el químico belga-estadounidense **Leo Baekeland**, quien creó la Baquelita, el primer material sintético real. **La producción de plástico mundial en 1950 fue de 1,5 millones de toneladas**. [8] La creación de plástico virgen ha crecido 200% desde 1950 hasta el año 2000 y desde entonces ha aumentado en un 4% anual [Fig. 05]. Si sigue esta línea podría aumentar **en un 40% para 2030**. [9]



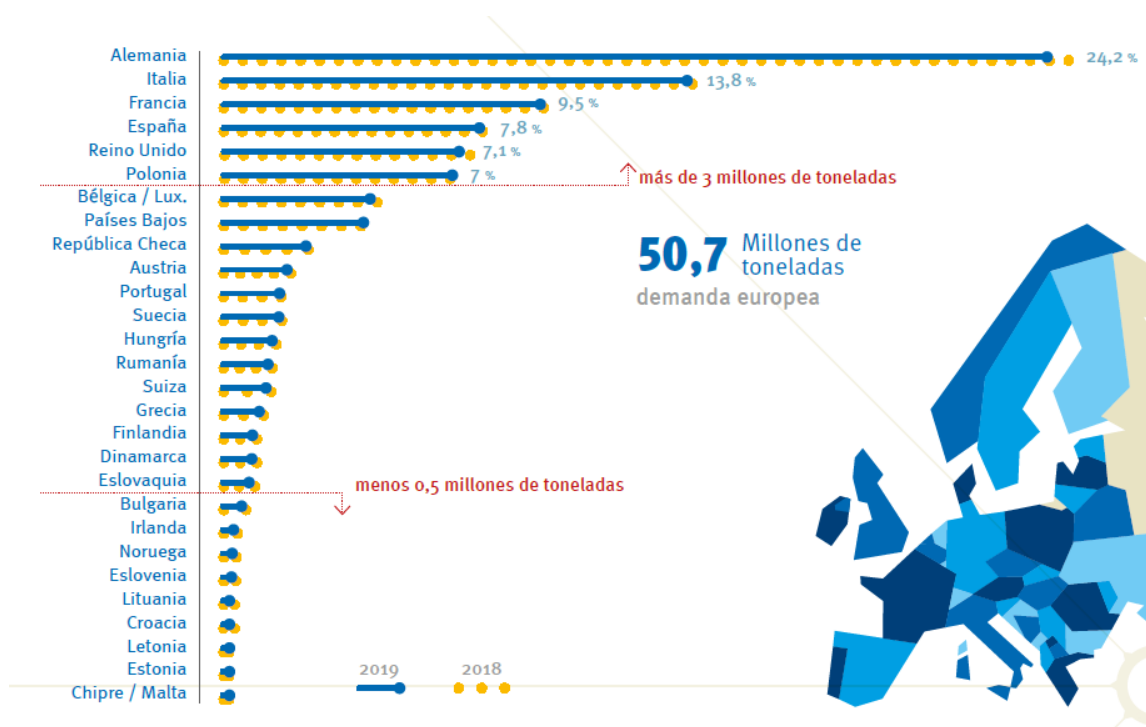
[Fig. 05] Producción total de plástico virgen por año, 1950-2030 (proyección) Fuente: WWF, "Naturaleza sin plástico: evaluación de la ingestión humana de plástico presentes en la naturaleza", (2019).

"En 2019, la producción de plásticos en el mundo alcanzó casi los 370 millones de toneladas. En Europa, la producción de plásticos alcanzó casi los 58 millones de toneladas". [10]



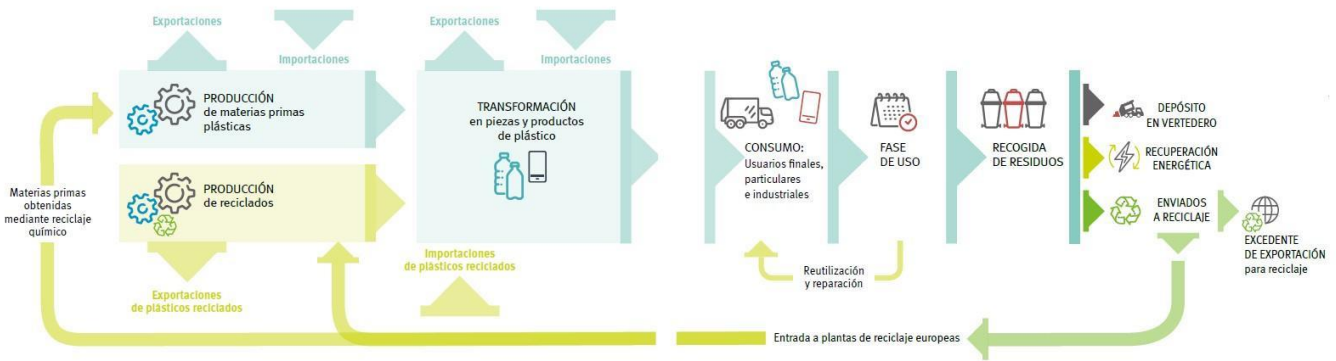
[Fig. 06] Distribución de la producción Global en 2019. Fuente: PlasticsEurope Market Research Group (PEMRG) and Conversion Market & Strategy GmbH. PlasticsEurope, "Plastics - the facts (2020)"

La producción mundial aumentó ligeramente de 356 millones de toneladas a 368 millones de toneladas de 2018 a 2019 [Fig. 06], pero en cambio en Europa ha descendido moderadamente de 61,8 millones de toneladas a 57,9 millones de toneladas. Como podemos ver en [Fig. 07] España es el cuarto país con mayor demanda de plásticos de Europa, con un 7,8% del total.



[Fig. 07] Distribución de la demanda de los transformadores de plásticos en Europa (UE28+NO/CH) por países. Fuente: PlasticsEurope Market Research Group (PEMRG) and Conversion Market & Strategy GmbH. PlasticsEurope, "Plastics- the facts (2020)".

Uno de los objetivos de este trabajo de investigación es aportar una vía de reciclaje de residuos de plástico en el ámbito de la construcción, pero para ello antes hay que entender la vida útil de los plásticos. Como se ha comentado anteriormente, **cada plástico es diferente y cada uno tiene su propia durabilidad**. Esto hace que los valores de plástico producido y recogido sean distintos.



[Fig. 08] La circularidad de los plásticos.

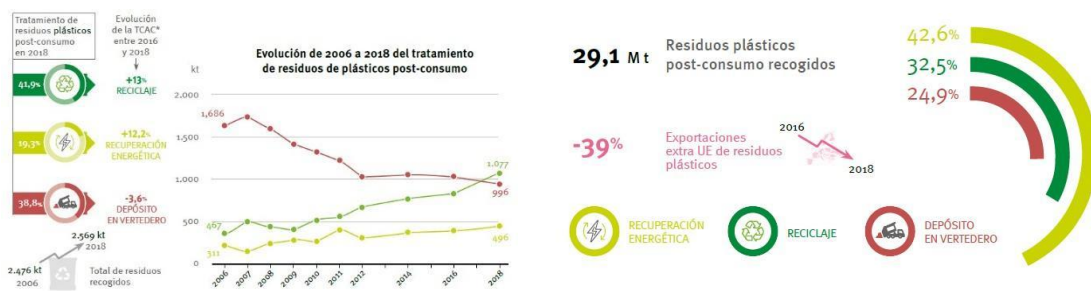
Fuente: [PlasticsEurope](#) Market Research Group (PEMRG) and Conversion Market & Strategy GmbH. Plastics Europe, "Plastics-the facts (2020)".

Debido a la **alta demanda la generación de residuos** está en 29,1 millones de toneladas en Europa [11] [Fig. 09]. El plástico tiene tres posibles maneras de concluir su vida útil: reciclado, utilizado para la recuperación de energía o acaba en un vertedero. [Fig. 08]

La manera **más sostenible de reutilizar** los residuos es mediante **el reciclaje**, pero debido a que muchos productos son una mezcla de varios plásticos **esto dificulta el proceso de reciclaje e incluso haciéndolo imposible**. Por otro lado, tenemos la **recuperación de energía** en la cual incluso se puede cubrir **hasta el 10%** de las necesidades de algunos países de la Unión Europea. Los residuos en adición de otros materiales de gran dotación calorífica pasan por unas plantas de cogeneración consiguiendo energía mediante calor [12].

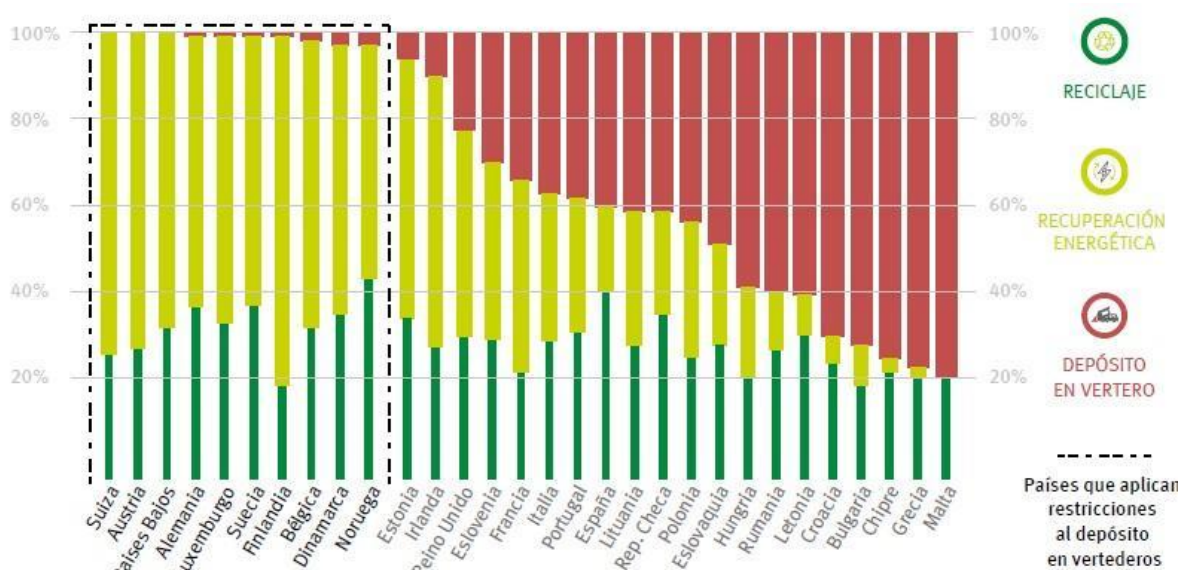
Por último, **tenemos los vertederos**, en el cual, se acumulan los residuos **exponiéndose a la intemperie** o enterrándose (gran parte de los productos plásticos acaban abandonados en los medios naturales o no son recolectados).

En **2018**, para su tratamiento se recogieron 2,5 millones de toneladas de residuos plásticos en España. Además, desde el **2006** se ha multiplicado por **2,3** el **volumen de residuos** reciclados, se **ha aumentado** en un 59% la recuperación de energía y **se ha disminuido** en un 41% el depósito en vertederos. **España es el segundo de Europa** después de Noruega que más cantidad de residuos plásticos recicla, con una cantidad de 1,07 millones de toneladas [Fig. 10].



[Fig. 09] Tratamiento de residuos plásticos en España.

Fuente: PlasticsEurope Market Research Group (PEMRG) and Conversion Market & Strategy GmbH.

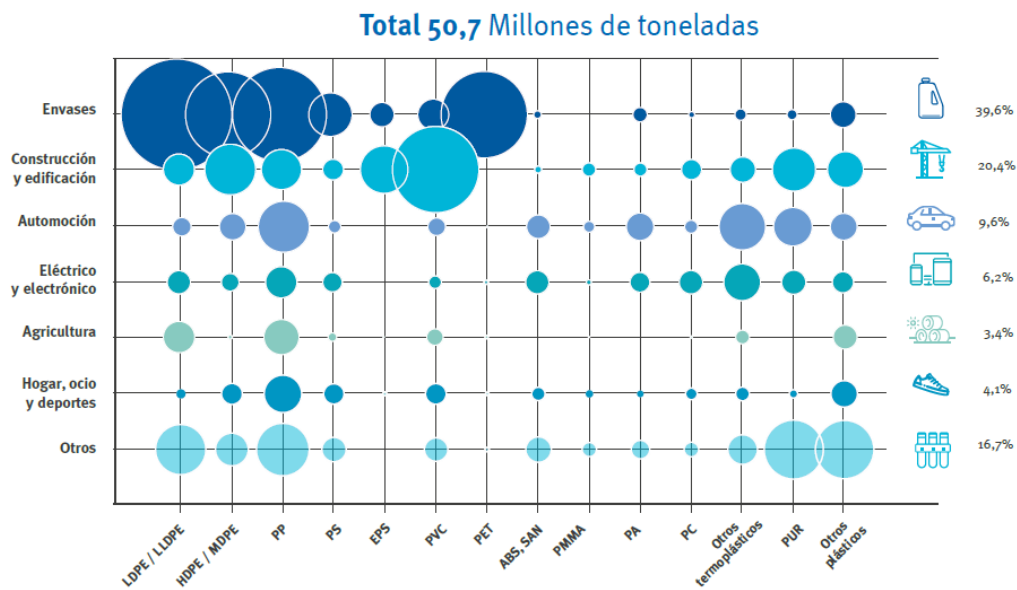


[Fig. 10] Índice de reciclaje y similares post-consumo por países en 2018.

Fuente: PlasticsEurope Market Research Group (PEMRG) and Conversion Market & Strategy GmbH.PlasticsEurope.

De los 50,7 millones de toneladas de plástico producidas en 2019 en Europa, el 20,4% va destinado al campo de la construcción y edificación, en concreto unos 10,34 millones de toneladas.

Solo el sector de envases tiene mayor demanda de plástico. Las propiedades como la resistencia, durabilidad, aislamiento y facilidad de transporte e instalación hacen que el plástico sea excelente para la construcción.



[Fig. 11] Demanda de plásticos por segmento y tipo de polímero en Europa en 2019 (UE28+NO/CH).
Fuente: PlasticsEurope Market Research Group (PEMRG) and Conversion Market & Strategy GmbH.

2.5 RECICLAJE

En la actualidad, cada vez hay más **concienciación** de los estragos en el medio ambiente por culpa de los plásticos gracias a varias **organizaciones** y sus campañas de educación ambiental.

Además, a nivel europeo y nacional progresivamente hay **más medidas** para la **gestión** de **residuos**:

En 2020, **España conserva** uno de los puestos de **liderazgo** en el **ranking europeo**, reciclando de media alrededor de **13,1 kg** por habitante, esta cifra ha incrementado en los últimos 10 años **casi un 50%**. Se reciclaron **616.282 toneladas de envases** de plástico doméstico, pese a la pandemia del COVID-19, obteniendo de forma estable la cantidad del año anterior.

Inclusive, **pasando más tiempo en los hogares** por culpa de la pandemia, los españoles utilizaron en un **8,5% más** el **contenedor amarillo** y redujeron el consumo de envases de plástico en un **2,1%** en el año 2020.

Desgraciadamente, estos factores positivos fueron favorecidos por el cierre temporal de los negocios de la restauración, en **donde no generaron residuos** plásticos. Igualmente, la **cancelación de eventos** en lugares de gran afluencia fuera del hogar también desempeñó un factor importante a la **reducción de la producción de residuos**.



[Fig. 12] Top 6 en reciclado de plásticos del hogar por CC.AA. Fuente: Ecoembes, Memoria anual 2020

Como podemos apreciar en la **imagen de los datos de reciclado** por comunidad autónoma [Fig. 12], apreciamos que la comunidad Valenciana es la que más ha reciclado por habitante con **16,2 kg de media**. La Unión Europea puso como propósito, mediante la Directiva (UE) 852/2018 del Parlamento Europeo y del Consejo por la que se modifica la Directiva 94/62/CE relativa a los envases y residuos de envases, para el 2025 que el índice de reciclado fuese por país de la unión del 50%, y España en 2019 superó ese índice con un 51,5%. Según el informe de Cicloplast en cooperación con la asociación Nacional de Recicladores de Plástico (Anarpla), el índice de reciclado de material plástico está en torno a un 43% [Fig. 11]. Esta cantidad ha **superado a las toneladas de plástico** que se depositan en vertederos, estas son buenas noticias, ya que **estamos a un paso para lograr un 100% de economía circular**.

2.6 EL IMPACTO DEL PLÁSTICO EN LA SALUD

“En su conjunto, los impactos del ciclo de vida del plástico presentan un panorama claro y preocupante: el plástico es una amenaza mundial para la salud humana” [13].

La **producción mundial del plástico entre 1950 y 2015** se encuentra en torno a los 7300 millones de toneladas [Fig. 13], de las cuales el 21 % pertenecen a la producción del polipropileno, material sobre el que versará el presente trabajo junto con el PET.



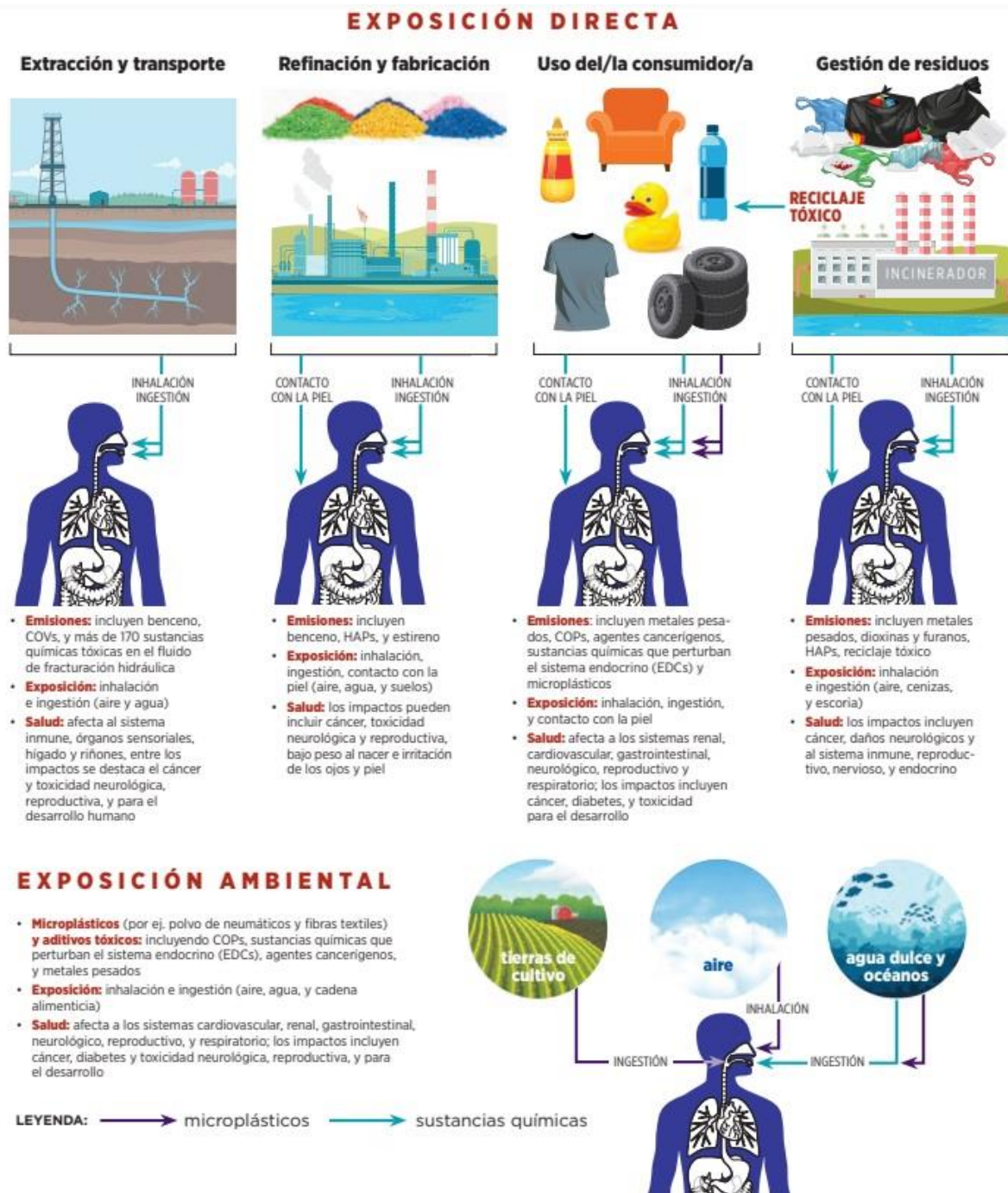
[Fig. 13] (Ryan, A Brief History of Marine Litter Research, in M. Bergmann, L. Gutow, M. Klages (Eds.), Marine Anthropogenic Litter, Berlin Springer, 2015; Plastics Europe)

Además, la **producción continuará aumentando** exponencialmente a lo largo de los años hasta alcanzar cotas nunca vistas, por lo que si el **ciclo de vida de dichos plásticos supone un riesgo para la salud** debe hacerse aún más hincapié en el impacto del mismo:

Si bien **es conocido el impacto del plástico y la sistemática producción** del mismo en el **medio ambiente** y la forma en la que este afecta no sólo a la naturaleza, sino a diversas formas de vida (peces y otros animales); no es muy común hablar de los **efectos que este produce en el ser humano**.

Diversos estudios han afirmado que plásticos como el **polietileno** contienen **bacterias en su superficie** que pueden causar **enfermedades gastrointestinales** en las personas y aumentan en general el riesgo de sufrir otro tipo de enfermedades [Fig. 14] [13].

Como puede observarse en la figura 14, **en cada una de las fases del ciclo de vida de los plásticos** se encuentran procesos que en **mayor o menor medida afectan a nuestro organismo**, desde su **extracción** a su **tratamiento** en fábricas y hasta que llega a nuestras manos, con la posibilidad de que los efectos perjudiciales continúen si no se realiza un **reciclaje eficaz**.



[Fig. 14] Diagrama del impacto de los plásticos en el ser humano. Fuente: CIEL/NonprofitDesign.com.

La única **solución viable** parece ser una **reestructuración del sistema** que tenga en cuenta todos estos factores para una producción, uso y posterior reciclaje efectivos que **no contribuyan a empeorar la situación actual** de esta gran familia de materiales que, si bien presentan una gran serie de ventajas frente a otros, su incorrecta utilización acarrea más problemas que soluciones.

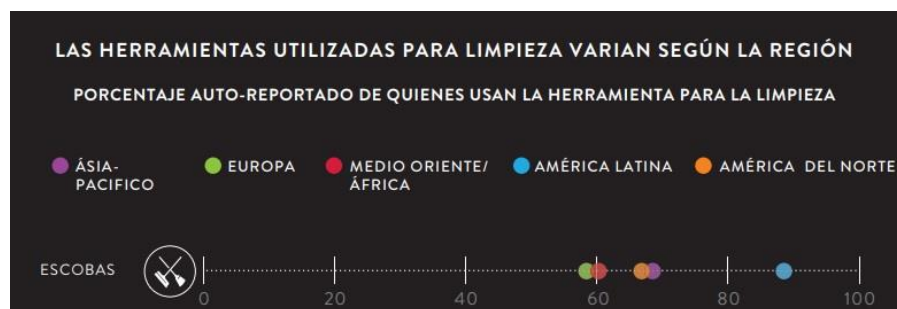
3-USO DE FIBRAS DE PLÁSTICO EN LA CONSTRUCCIÓN

USOS DE FIBRAS DE PLÁSTICO EN LA CONSTRUCCIÓN

3.1 MATERIAL DE ESTUDIO: FIBRAS DE ESCOBA

El **Polipropileno**, material del que están compuestas las **fibras de las escobas**, es un material **100% reciclable**, ya sea en la forma de desechos plásticos de las industrias como en la forma de residuo post-consumo. Sin embargo, el principal problema proviene del **reciclaje completo de la escoba**, ya que en su conjunto **es más difícil de reciclar que por separado** debido a los distintos tipos de plástico de los que está compuesta (mango, cabezal, fibras). Además, **según un estudio de 2013**, el **40% de los residuos desechados en el vertedero son residuos alimenticios y de cocina** [14], lo cual es un porcentaje bastante elevado que denota la principal problemática de estos productos.

La escoba es el producto más utilizado en los hogares, con un **68% del uso total de productos de limpieza** [Fig. 15]. Si tomamos la **estimación de vida útil (1 año con buenos cuidados)** más la recomendación de tiempo de uso de 6 meses, tenemos una media de **2 escobas por año por cada hogar**.



[Fig. 15] Diagrama herramientas de limpieza más utilizadas por región. Fuente: Nielsen.

"The global household cleaning products market is projected to grow from \$235.76 billion in 2021 to \$320.82 billion in 2028 at a CAGR of 4.5% in forecast period". [15]

En euros, el mercado global sería de **208,204 billones**, al cual aplicando un porcentaje del **68%** del estudio previo se obtienen **141,578 billones de euros**.

3.2 MODELO UTILIZADO: PROPIEDADES

La **escoba utilizada** para este trabajo fue el modelo de **"Escoba pequeña"** [16] procedente de la empresa Mercadona, fabricada por **SP. Berner**, uno de los mayores fabricantes de productos de limpieza del mercado actualmente. Las **fibras** que forman los **pelos de la escoba** elegida están compuestas en su mayoría por **PP y PET**, siendo en **mayor su porcentaje de PP**. Por ello nos centraremos en las **propiedades mecánicas** de las fibra de **PP virgen**, ya que son estas las más próximas a las **propiedades reales** de una escoba, consecuencia de la ausencia de respuesta por parte del fabricante del modelo antes citado.

TQ tecnofibra PP

FIBRAS DE POLIPROPILENO DE 6 mm PARA EL REFUERZO DE MORTEROS Y HORMIGONES

FICHA TÉCNICA	<ul style="list-style-type: none"> ● Longitud 6 mm ● Denier 5,50 ● Gravedad específica 0,93 g/cm³ ● Numero de fibras/kg 125.000.000 ● Resistencia a la tracción 6,30 g/denier ● Carga de rotura 39 g/fibra ● Alargamiento a la rotura 79,96 % ● Resistencia al álcali alta ● Resistencia al ácido alta 	<ul style="list-style-type: none"> ● Resistencia a la sal alta ● Punto de fusión 160 - 170°C ● Punto de ignición 590°C ● Conductión térmica baja ● Conductividad eléctrica baja ● Color natural (blanco) <p style="font-size: small; margin-top: 5px;">*Estos parámetros se han recogido a 20°C según temperatura ambiente y del sustrato pueden sufrir modificaciones.</p>
----------------------	--	---



ESCOBA PEQUEÑO ESPACIOS
 REF. 11503
 SMALL SPACES BROOM
 BALAI PETITS ESPACES

[Fig. 16] Ficha técnica fibras de polipropileno, Tecnofibra PP.

Fuente: PDF ficha técnica de fibras de polipropileno de 6 mm. para el refuerzo de mortero y hormigones.

Seleccionamos como ejemplo las fibras de la marca "Tecnofibra PP" [16]:

3.3 PP Y PET RECICLADOS EN LA CONSTRUCCIÓN

En los últimos años se ha extendido la práctica de **utilizar materiales que puedan ser reciclados y posean un carácter sustentable**.

Entre estos materiales se encuentran tales como la **fibra de vidrio o fibras de diversos plásticos como el PET o el polipropileno**.

Estos últimos se utilizan en gran medida como **añadido a morteros u hormigones**, incluso la normativa del hormigón estructural EHE-08 y el FIB contempla la incorporación de fibras en elementos estructurales sin tener la necesidad de usar armadura tradicional, sin embargo, las fibras que se mencionan tienen una composición metálica y no plástica. [17]

Diversos **estudios** han demostrado las diversas **propiedades de materiales como el PET reciclado**, el cual **mejora la resistencia a flexión de los morteros** [18], así como proporciona una mayor resistencia mecánica y rigidez.

Otras **ventajas** que proporcionan estos materiales **como añadidos** son las siguientes:

"Un sistema de refuerzo alternativo a las mallas, más barato, rápido y fácil de usar; disminuye la formación de grietas por retracciones y contracciones; ahorran tiempo de construcción ya que al mezclarlo con el hormigón su aplicación es directa; reducen costos de mano de obra al saltarse procedimientos en la ejecución de las obras; proporcionan refuerzo secundario y uniforme; se mezclan fácilmente en el concreto, ya sea en planta como en obra; no es corrosivo ni magnético; aportan tenacidad a la estructura; aumentan la resistencia al impacto y evitan la erosión; proporcionan seguridad a las obras; proveen refuerzo tridimensional y tienen una resistencia a la tracción alta" [18].



[Fig. 17] Fibras de PP y de PET. Fuente: Textdelta y residuosprofesional.

Las ventajas no sólo se limitan a las **propiedades físicas y mecánicas** del material, sino que también **se ven reducidos drásticamente los costes de producción** en obra debido a que los materiales utilizados son de origen reciclado o simplemente son más baratos debido a que pertenecen a la **familia de los plásticos**.

La **utilización de dichos materiales** también supondría una **reducción de la utilización en la construcción del acero**, debido a que la resistencia que aportan oscila en los mismos valores que este último, sin embargo, **aún no se ha presentado una patente para este sistema**.

La **adición de fibras poliméricas** con porcentajes iguales o superiores al 2% de adición cambia la rotura frágil del material híbrido, dotándolo de características dúctiles, y así, permitiendo **absorber las tensiones internas** generadas por choques o impactos producidos en su superficie.

Por otro lado, si nos apoyamos en el **estudio científico** realizado en 2019 por F. Suárez, L. Felipe-Sesé, F.A. Díaz, J.C. Gálvez, M.G. Alberti: *Comportamiento a fractura de yeso con adición de fibras poliméricas* [19]; podremos sacar una serie de conclusiones relacionadas con las **propiedades físicas y mecánicas** de nuestro elemento a estudiar, en este caso las fibras de **PP y PET** en forma de **filamentos**, y de cómo **la fisonomía de las mismas con respecto a otras formas de presentar el material ofrece unos resultados más óptimos**.

Para este caso en particular se consideraron **dos tipos** de fibras poliméricas:

- **Microfibras de polipropileno** (nuestro caso): Monofilamentos de 12 mm.
- **Macrofibras de poliolefina**: Superficie rugosa, 48 mm.

El método utilizado para la **comparación** de dichas fibras involucra la realización de **tres tipos de mezclas**, siendo la primera de ellas (**Mezcla 0**) **de referencia**, al estar compuesta de solo yeso, mientras que las otras dos consistían en:

- "Primera Mezcla (A): yeso con fibras de poliolefina en una proporción de 5 kg/m³".
- "Segunda Mezcla (B): yeso con fibras de polipropileno en una proporción de 5 kg/m³".

Para comparar dichas fibras se utilizó un proceso de comparación de imágenes con respecto a una de referencia durante el ensayo, lo que permitía obtener el campo de desplazamientos.

Los resultados obtenidos son citados a continuación:

“En el caso de las fibras de polipropileno se observa un comportamiento muy repetitivo en los dos diagramas y se obtiene un incremento claro de la energía de fractura, pues el área encerrada bajo las curvas carga-desplazamiento es mucho mayor que en el caso de los yesos sin adiciones.

En el caso de las fibras de polipropileno, de carácter micro, la distribución de las mismas en la mezcla es mucho más uniforme, pues su pequeño diámetro hace que las fibras sean mucho más flexibles y se distribuyan de forma más homogénea en la matriz de yeso”.

Como podemos ver, el reducido diámetro de las fibras de polipropileno le otorga cierta ventaja con respecto a las de un tamaño superior.

También se afirma que el número de fibras presentes en el momento de la fractura tiene una importancia a tener en cuenta debido a que se pueden provocar grandes dispersiones.

Además, en el caso de la mezcla de poliolefina:

“La fisuración no se produce en una única fisura, sino que afecta a una cierta banda de la probeta, produciendo fisuras secundarias y distribuyendo el daño en una mayor parte de la matriz de yeso”.

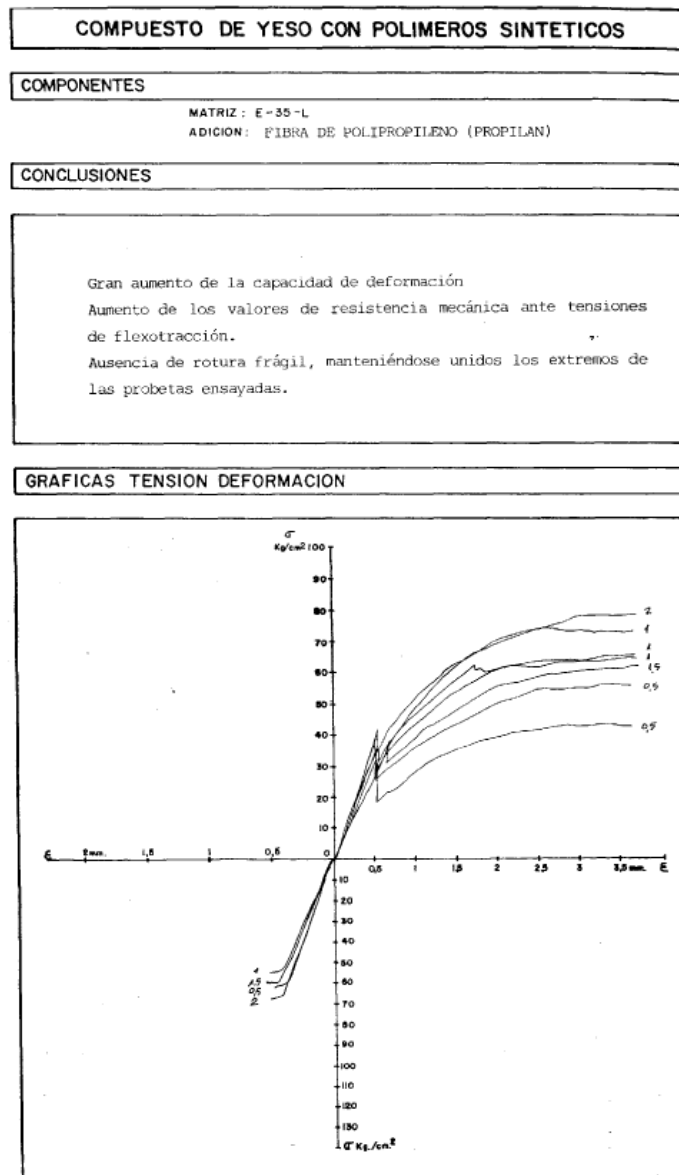
Mientras que, en nuestro caso, la probeta realizada con polipropileno:

“En el caso de las probetas fabricadas con fibras de polipropileno (mezcla B), el daño se concentra en una única fisura, provocando una mayor apertura de la misma respecto a la de la fisura principal de las probetas en la mezcla A”.

El estudio concluye con la siguiente afirmación:

“La adición de fibras poliméricas incrementa notablemente la energía de fractura del material, tanto en el caso de las fibras de poliolefina como en el de las de polipropileno”.

En suma, si nos apoyamos en un estudio realizado en 1988 en la Politécnica de Madrid por D. Alfonso García Santos, pionero en el estudio de adición de polímeros sintéticos a conglomerados, en el que estudia la tensión-deformación a través de ensayos de flexión y compresión, se realizó una gráfica de la que se extrajeron las siguientes conclusiones:



[Fig. 18] Gráfica Tensiones Deformaciones. Fuente: D. Alfonso García Santos, "Comportamiento Mecánico de Yeso Reforzado con Polímeros Sintéticos", Universidad Politécnica de Madrid, 1988

"No se observa ninguna variación en las pendientes de las gráficas correspondientes al período elástico, permaneciendo inalterable por tanto el módulo de elasticidad".

A continuación, se enuncia algo que se demostrará más adelante en nuestro apartado de análisis de datos, ya que se trata de un caso similar:

"En el ensayo de flexión los valores de resistencia mecánica van incrementándose paralelamente al aumento del porcentaje de adición, según la gráfica correspondiente al resumen de resultados".

Por consiguiente, en esta ocasión con el ensayo de compresión, la situación se repite y es similar al caso que presentaremos más adelante, en el cual la resistencia a flexión aumenta con el porcentaje de adición, mientras que con la compresión la resistencia disminuye:

“En el ensayo de compresión los valores de resistencia mecánica disminuyen con la adición de las fibras de polipropileno, manteniéndose prácticamente constantes con independencia del porcentaje añadido”.

En definitiva, las conclusiones que se obtuvieron fueron las siguientes:

- “Gran aumento de la capacidad de deformación”.
- “Aumento de los valores de resistencia mecánica ante tensiones de flexotracción”.
- “Ausencia de rotura frágil, manteniéndose unidos los extremos de las probetas ensayadas”.
- “Aumento de la velocidad de fraguada”.

4-HIPÓTESIS Y METODOLOGÍA

HIPÓTESIS

Después de una búsqueda exhaustiva de los estados del problema que contienen nuestros objetos de estudio se encontraron más casos experimentales destinados a mejorar las características en materiales de construcción, como el **peso ligero o la mayor resistencia** con yeso mezclado con fibras de PP.

Tras estudiar los casos de referencia anteriormente nombrados, la **primera suposición** que podemos hacer es que el material verá **disminuida su densidad** al sustituir parte del yeso por fibras de PET, ya que el PET es menos denso que el yeso, por lo que tendremos un material más ligero.

La **segunda suposición** es que las propiedades del yeso con la adición de fibras PET o PP se verán **modificadas favorablemente**, ya que las fibras actuarían como el acero en el hormigón armado, es decir, garantizar la adherencia entre los dos materiales permite a los dos materiales trabajar como uno solo y así mejorar sus resistencias.

En cuanto a las **propiedades mecánicas**, podemos hacer suposiciones basadas en la orientación de las fibras de PP al hacer la probeta, pero en nuestro caso solo se pueden definir las propiedades mecánicas experimentalmente.

METODOLOGÍA

El planteamiento de un **nuevo producto** con fines constructivos será determinado mediante un estudio previo experimental para acreditar **su validez**.

Esto irá acompañado de una **comparativa** entre las diferentes investigaciones, entre ellas trabajos fin de grado de otros años y tesis.

Esta investigación ha sido realizada mediante **ensayos en el laboratorio**, regulados por la normativa **UNE-EN**, para la caracterización del producto.

Basándonos en **ensayos mecánicos**, elaboramos una serie de **probetas** en las que probaremos las fibras de **PP** (polipropileno) en filamentos como material de adición, perteneciente a las fibras de escoba usados frecuentemente como utensilio de limpieza.



[Fig. 19] Fibras de polipropileno reciclado de escoba (material de estudio). Fuente: EP.

4.1 GRANULOMETRÍA Y PORCENTAJES DE ADICIÓN

Como se ha nombrado anteriormente, nuestras fibras de polipropileno provienen de **filamentos de escoba** (utensilio de limpieza). La **longitud** que comprenden estos **filamentos/fibras** oscilan entre los **2 cm** y los **4 cm**, con un diámetro de **0.05 cm** aproximadamente. Los porcentajes de adicción (fibra de PP) que se han tratado son: **1.5%, 3% y 6%**.

Cada porcentaje de adicción contará con **6 probetas**, siempre partiendo de la posibilidad de que falle alguna de ellas.

4.2 CÁLCULO DE LA CANTIDAD DE ADICIÓN

En cuanto a los resultados esperados de los análisis, las probetas, nos deberán proporcionar datos de **resistencia, rotura flexión y compresión**.

Todas las probetas están reguladas por la norma **UNE-EN-13279-2:2004**, norma reguladora del proceso y métodos de ensayo para la determinación de estos parámetros en el yeso en el ámbito de construcción. Las probetas usadas de forma prismática con dimensiones de **40x40x160mm**, de **300 gr** de capacidad, y sus moldes han sido facilitados por el laboratorio del departamento de Construcción Arquitectónica de la E.T.S.A de Sevilla.

Partiendo de la base de que el peso total es de **300 gr.**, calculamos las siguientes **cantidades necesarias** de cada elemento (**agua, yeso, adicción**):

Peso según porcentajes para 1 probeta YT (4 x 4 x 16 cm)			
	Yeso (gr)	Fibras de PET (gr)	Agua (gr)
Control	1920	0	1056
1,5%	1891,2	28,8	1040,16
3%	1862,4	57,6	1024,32
6%	1804,8	115,2	992,64

[Tabla. 01] Cálculo de cantidad necesaria. Fuente: EP

4.3 ELABORACIÓN DE PROBETAS

Tras realizar los **cálculos** anteriormente mostrados en la Tabla 1, nos disponemos a pesar cada una de las cantidades calculadas.

El método de la realización del **ensayo mecánico** es igual en todas las probetas salvo en su cantidad de adición de material (fibra de PP), por ello explicaremos el método general ya que es común a todos e incluiremos fotos de las cantidades usadas (igualmente mostradas en la Tabla 1):

PASO 1: TAMIZADO + PREPARACIÓN DE PROBETAS

Este método de tamizado se rige por la norma *UNE-933-1-2012*, cuyo fin es el de **caracterizar geoméricamente los áridos**, en nuestro caso el material de adición.

Como se trata de filamentos en nuestro caso, **no habría que realizar esta prueba de caracterización**.

El siguiente paso sería **untar con desencofrante** las probetas que se usarán, para facilitar así su desmolde.



[Fig. 20] Aplicación de desencofrante en probeta Fuente: EP

El desencofrante usado también ha sido facilitado por la Escuela Técnica Superior de Arquitectura, por parte del departamento de Construcción, Laboratorio.

PASO 2: PESAJE

Con la ayuda de una báscula y un vaso medidor, **pesaremos primero los elementos secos** por separado en una báscula electrónica para mayor precisión:

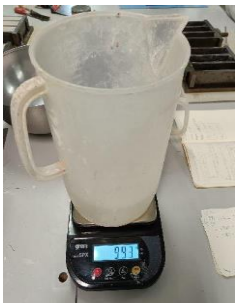
1% DE ADICIÓN



3% DE ADICIÓN



6% DE ADICIÓN



[Fig. 21] Pesaje porcentajes de adición. Fuente: EP.

PASO 3: MEZCLAR

Mezclaremos todos los ingredientes, primero los componentes secos como los filamentos y el **yeso** y después el agua.

Al **añadir el agua** lo haremos poco a poco mientras seguimos removiendo la mezcla, con cuidado para que pueda llegar a todas las zonas del recipiente y se integre.

Cada uno con **sus cantidades correspondientes**.



[Fig. 22] Vertido de fibras en yeso seco Fuente: EP



[Fig. 23] Mezclado fibras con yeso Fuente: EP



[Fig. 24] Vertido de agua en la mezcla Fuente: EP

PASO 4: VERTER LA MEZCLA

Vertemos el mortero con fibras de PP en los moldes previamente preparados (PASO 1) y para ello necesitaremos ir reajustando la colocación del mortero manualmente con la ayuda de espátulas metálicas e ir golpeando el molde para ese reajuste.

PASO 5: ETIQUETADO DE PROBETAS

Para la correcta diferenciación de las probetas, debemos etiquetarlas con un código según su adición y el tipo de mezcla usada, en este caso el mortero.



[Fig. 25] Probetas 6% de adición
Fuente: EP



[Fig. 26] Probetas 3% de adición
Fuente: EP



[Fig. 27] Probetas 1,5% de adición
Fuente: EP

4.4 DESMOLDADO DE PROBETAS

Llegados a este paso, debemos esperar a que las probetas fragüen adecuadamente. Una vez el mortero fraguado correctamente las probetas serán almacenadas para poder realizar los ensayos pertinentes.



[Fig. 28] Probetas 6% de adición tras ser sometidas a ensayos. Fuente: EP



[Fig. 29] Probetas 1,5% de adición tras ser sometidas a ensayos. Fuente: EP

4.5 RESULTADOS DE LOS ENSAYOS

Con estos ensayos obtenemos su capacidad de resistencia a **flexión y a compresión**, tras esto se somete las dos partes (**a y b**) generadas del ensayo a flexión al ensayo de resistencia por compresión:

Todos estos valores obtenidos están recogidos en el **ANEXO 1**.

5-ANÁLISIS DE DATOS

ANÁLISIS DE DATOS DEL CONGLOMERADO

Con el fin de comprobar las propiedades del material de estudio, en nuestro caso yeso aditivado con fibras de polipropileno procedente de fibras de escoba recicladas, se realiza a continuación un análisis de los datos obtenidos en los ensayos realizados previamente en laboratorio. El objetivo final de este análisis será determinar si la adición de dicho producto reciclado influye positivamente en las propiedades mecánicas del conglomerado, así como también lo hace en la reducción del impacto medioambiental producido por materiales similares.

PROCEDIMIENTO

El procedimiento a seguir consistirá en analizar de forma continuada los valores obtenidos en los ensayos mecánicos de cada probeta, para posteriormente compararlas entre sí dependiendo de su porcentaje de adición, así como con la de referencia y lograr finalmente una caracterización más completa del material propuesto. Para ello se ha utilizado un software llamado GeoGebra, facilitado por nuestro profesor titular del departamento de Matemática Aplicada I en la Universidad de Sevilla, Enrique Domingo Fernández Nieto. Para la elaboración de este análisis se han seguido las pautas establecidas en el trabajo elaborado por Sofía Bernousi, compañera autora del TFG de referencia provisto a los estudiantes por el equipo docente del Grupo H. [20]

METODOLOGÍA

Contaremos con 6 probetas por valor de porcentaje de añadido, así como otras 6 sin adición, con unas medidas consideradas en estado líquido de 40x40x160 mm, lo cual en muchos casos significa que el volumen medido no será el real, debido que una vez pasado el tiempo de fraguado el volumen de algunas de estas varió debido a pequeños errores cometidos durante su realización, los cuales veremos cómo subsanar más adelante. Por otro lado, el peso de las probetas, así como muchas de las demás propiedades, nos fue ofrecido por el laboratorio donde se realizaron los ensayos. Las denominaciones a utilizar en el análisis son las siguientes:

- Y (Mortero de yeso)
- PP (Fibras de polipropileno)
- 1,5% - 3% - 6% (Porcentaje de adición en la muestra)

PROBETA	Y/PP/1,5%	Y/PP/3%	Y/PP/6%	REF
1	359,65	347,88	360,51	317,32
2	335,82	323,05	357,84	316,16
3	328,59	323,39	335,81	321,13
4	318,13	316,19	326,77	318,83
5	316,17	321,67	320,42	317,38
6	317,67	323,36	314,68	317,7

[Tabla. 02] Resultado de peso de ensayo de probetas de yeso en gramos (gr).

Podemos ver aquí una primera aproximación al peso obtenido en los ensayos mencionados con anterioridad, los cuales procederemos a analizar a continuación:

5.1 PESO

Análisis inicial del peso

Como puede observarse en la tabla, todos los valores del 6% de adición son bastante dispares. Se llegó a la conclusión de que se trata de un error cometido en la elaboración de las probetas, en la cual se empleó más conglomerante en la realización de estas. Se decide marcar la probeta 1 del añadido de 1,5%, debido a que este valor daba resultados erróneos en los análisis iniciales, junto a otro que mencionaremos más adelante, y por ser la que más difiere en su valor con el resto, hasta un 10% más del valor medio del 1,5%, tras lo que se procederá a realizar como estaba previsto el análisis unidimensional y bidimensional, sin embargo, este será el primer valor a descartar en el caso de que existieran errores en dichos análisis.

PROBETA	Y/PP/1,5%	Y/PP/3%	Y/PP/6%	REF
1	359,65	347,88	360,51	317,32
2	335,82	323,05	357,84	316,16
3	328,59	323,39	335,81	321,13
4	318,13	316,19	326,77	318,83
5	316,17	321,67	320,42	317,38
6	317,67	323,36	314,68	317,7

[Tabla. 02] Resultado de peso de ensayo de probetas de yeso en gramos (gr).

La relación entre el porcentaje de añadido y el peso se realizará directamente en el análisis de la densidad aparente, ya que este primer valor es directamente proporcional a ella ($D=m/V$).

5.2 DENSIDAD APARENTE

Procedemos ahora a analizar la densidad aparente, la cual se define como:

“Cociente entre la masa de la materia seca de un cuerpo poroso y su volumen aparente, expresado en gramos por centímetro cúbico; entendiéndose 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.” [20]

Aquí podremos comprobar que existen diversos errores en el volumen de las probetas debido a los motivos explicados con anterioridad en el apartado de Metodología.

PROBETA	Y/PP/1,5%	Y/PP/3%	Y/PP/6%	REF
1	1,40	1,36	1,41	1,24
2	1,31	1,26	1,40	1,24
3	1,28	1,26	1,31	1,25
4	1,24	1,24	1,28	1,25
5	1,24	1,26	1,25	1,24
6	1,24	1,26	1,23	1,24

[Tabla. 03] Resultado de densidad aparente de ensayo de probetas de yeso (en gr/cm³).

Continuaremos con la explicación del proceso de análisis de la densidad aparente, así como con las conclusiones que hemos obtenido y posibles errores.

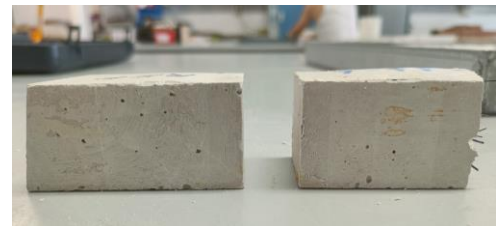
METODOLOGÍA

Los datos sobre la densidad aparente se han considerado con la medición de los prismas realizados en laboratorio y posterior cálculo a través de la fórmula $D=m/V$ para luego adaptarla a la unidad; siendo m el peso de las probetas y V el volumen de estas, tomándose el del recipiente en el que se han elaborado y finalmente adaptándola a la unidad de medida adecuada (gr/cm^3).

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Como puede observarse en la Tabla 03, existe una variación en las densidades por porcentaje de adición que no debería existir, ya que, si consideramos que las probetas de un mismo porcentaje de adición deben de tener el mismo peso y el mismo volumen, el valor de la densidad sería prácticamente el mismo o similar. Se debe este error, como ya se ha explicado con anterioridad, a errores en la fabricación de las probetas. Volvemos a marcar la Probeta 1 de 1,5% de adición debido a su irregularidad y vamos a laboratorio a comprobar su idoneidad:

PROBETA	Y/PP/1.5%	Y/PP/3%	Y/PP/6%	REF
1	1,40	1,36	1,41	1,24
2	1,31	1,26	1,40	1,24
3	1,28	1,26	1,31	1,25
4	1,24	1,24	1,28	1,25
5	1,24	1,26	1,25	1,24
6	1,24	1,26	1,23	1,24



[Tabla. 03] Resultado de densidad aparente de ensayo de probetas de yeso (en gr/cm^3).

[Fig. 30] Probeta 1 Y/PP/1.5%
Fuente: EP

Podemos ver en la Figura 30 correspondiente a la Probeta 1 de 1,5% que existe cierta deformidad en la cara superior de la misma, al encontrarse esta combada. Sumando esta comprobación a la previa del peso y a los gráficos que se expondrán a continuación descartaremos esta probeta.

Antes de proceder a realizar el análisis gráfico con el programa Geogebra, vamos a proceder a analizar de forma breve los resultados generales de los ensayos debido a que la presencia de irregularidades como las mostradas por la probeta Y/PP/1,5% en otras muestras puede entorpecer el proceso. Se enuncian los resultados a continuación:

PROBETA DE REFERENCIA (SIN ADICIÓN)								
PESO	ROTURA FLEXIÓN (10 KG f/s)	ROTURA COMPRESIÓN (16Kg f/s)		RESISTENCIA FLEXIÓN (N/mm ²)	RESISTENCIA COMPRESIÓN (N/mm ²)		DENSIDAD (gr/cm^3)	
1	317,32	0,17	1,25	1,15	3,91	7,83	7,19	1,40
2	316,16	0,164	1,86	1,99	3,77	11,62	12,41	1,31
3	321,13	0,17	2,01	1,86	3,91	12,56	11,61	1,28
4	318,83	0,153	2,00	1,87	3,52	12,48	11,66	1,24
5	317,38	0,16	1,81	1,84	3,68	11,29	11,48	1,24
6	317,7	0,179	1,82	1,90	4,12	11,38	11,84	1,24

[Tabla. 04] Resultados generales de probeta de referencia.

PROBETA DE YESO - Y/PP/1,5%								
PESO	ROTURA FLEXIÓN (10 KG f/s)	ROTURA COMPRESIÓN (16Kg f/s) (16Kg f/s)		RESISTENCIA FLEXIÓN (N/mm ²)	RESISTENCIA COMPRESIÓN (N/mm ²)		DENSIDAD (gr/cm ³) (gr/cm ³)	
1	359,65	0,138	1,89	1,94	3,17	11,81	12,09	1,40
2	335,82	0,176	2,05	2,08	4,05	12,78	12,98	1,31
3	328,59	0,18	1,89	1,95	4,14	11,84	12,19	1,28
4	318,13	0,147	1,94	1,76	3,38	12,15	11,01	1,24
5	316,17	0,16	1,94	1,97	3,68	12,14	12,30	1,24
6	317,67	0,16	1,85	1,96	3,68	11,54	12,25	1,24

[Tabla. 05] Resultados generales de probeta 1,5%

PROBETA DE YESO - Y/PP/3%								
PESO	ROTURA FLEXIÓN (10 KG f/s)	ROTURA COMPRESIÓN (16Kg f/s) (16Kg f/s)		RESISTENCIA FLEXIÓN (N/mm ²)	RESISTENCIA COMPRESIÓN (N/mm ²)		DENSIDAD (gr/cm ³) (gr/cm ³)	
1	347,88	0,161	1,62	1,65	3,70	10,14	10,32	1,36
2	323,05	0,185	1,71	1,73	4,26	10,71	10,79	1,26
3	323,39	0,167	1,62	1,64	3,84	10,13	10,25	1,26
4	316,19	0,17	1,73	1,76	3,91	10,80	10,97	1,24
5	321,67	0,176	1,61	1,75	4,05	10,07	10,94	1,26
6	323,36	0,185	1,85	1,77	4,26	11,54	11,05	1,26

[Tabla. 06] Resultados generales de probeta 3%

PROBETA DE YESO - Y/PP/6%								
PESO	ROTURA FLEXIÓN (10 KG f/s)	ROTURA COMPRESIÓN (16Kg f/s) (16Kg f/s)		RESISTENCIA FLEXIÓN (N/mm ²)	RESISTENCIA COMPRESIÓN (N/mm ²)		DENSIDAD (gr/cm ³) (gr/cm ³)	
1	360,51	0,208	1,58	1,62	4,78	9,87	10,11	1,24
2	357,84	0,264	1,69	1,64	6,07	10,56	10,24	1,23
3	335,81	0,268	1,60	1,62	6,16	9,98	10,10	1,25
4	326,77	0,234	1,70	1,54	5,38	10,64	9,65	1,24
5	320,42	0,241	1,64	1,68	5,54	10,23	10,50	1,24
6	314,68	0,226	1,59	1,47	5,20	9,93	9,21	1,24

[Tabla. 07] Resultados generales de probeta 6%

Tras comprobar los datos del análisis de cada probeta, y ayudándonos de nuestra visita al laboratorio, detectamos un valor irregular en la Probeta de referencia (sin adición), más concretamente en los valores de rotura a compresión. En dicha visita pudimos comprobar que la probeta en cuestión se encontraba rota en 3 trozos, A, B y C, en contraposición de los valores normales de rotura a compresión los cuales se encuentran divididos en A y B.

PROBETA DE REFERENCIA (SIN ADICIÓN)								
PESO	ROTURA FLEXIÓN (10 KG f/s)	ROTURA COMPRESIÓN (16Kg f/s) (16Kg f/s)		RESISTENCIA FLEXIÓN (N/mm ²)	RESISTENCIA COMPRESIÓN (N/mm ²)		DENSIDAD (gr/cm ³) (gr/cm ³)	
1	317,32	0,17	1,25	1,15	3,91	7,83	7,19	1,40
2	316,16	0,164	1,86	1,99	3,77	11,62	12,41	1,31
3	321,13	0,17	2,01	1,86	3,91	12,56	11,61	1,28
4	318,83	0,153	2,00	1,87	3,52	12,48	11,66	1,24
5	317,38	0,16	1,81	1,84	3,68	11,29	11,48	1,24
6	317,7	0,179	1,82	1,90	4,12	11,38	11,84	1,24

[Tabla. 04] Resultados generales de probeta de referencia.

Esta anomalía se hace aún más presente en la resistencia a compresión, la cual calcularemos posteriormente. Ante esta situación, nos decidimos por descartar las probetas 1 de Y/PP/1,5% y la probeta 1 de referencia.

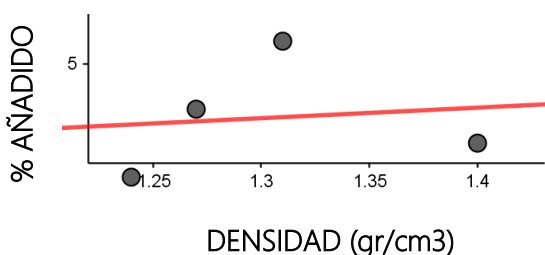


[Fig. 31] Probeta de referencia REF-1

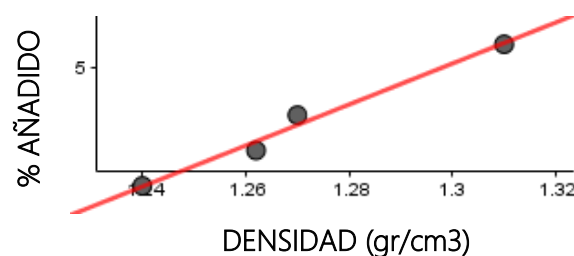


[Fig. 32] Probeta (1) Y/PP/1,5%

Procedemos a continuación a analizar la relación entre la densidad aparente y el porcentaje de adición, con las dos probetas defectuosas y sin ellas, para corroborar si estamos en lo correcto y si es de procedencia descartar dichas probetas. Para ello hemos recurrido al análisis bidimensional realizado con las medias de cada grupo de probetas (densidad y porcentaje de adición) y comprobaremos si existe una correcta disposición de fibras por probeta:



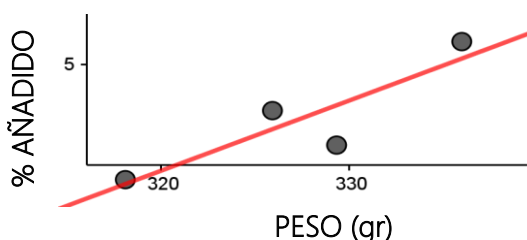
[Gráfica 01] Análisis de dos variables:
Porcentaje de añadido (%) y densidad aparente
Incluyendo (1) Y/PP/1,5% y REF-1



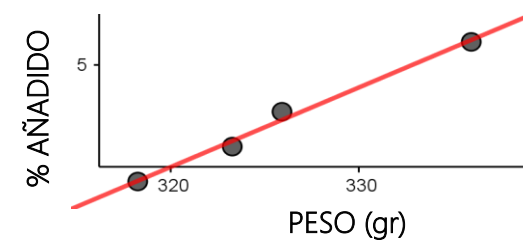
[Gráfica 02] Análisis de dos variables:
Porcentaje de añadido (%) y densidad aparente
No Incluyendo (1) Y/PP/1,5% y REF-1

Confirmamos que nuestras afirmaciones anteriores eran ciertas, ya que en la Gráfica 01 algunos de los valores parecen no estar relacionados entre sí, obteniéndose en consecuencia un índice de correlación muy bajo: $r=0,1263$.

Por otro lado, en la Gráfica 02, en la cual hemos prescindido de estos dos valores, podemos observar que existe un índice de correlación bastante superior al de la gráfica anterior: $r=0,9916$

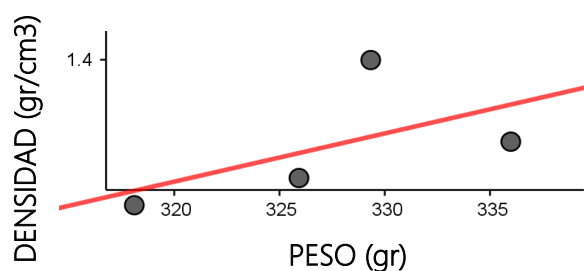


[Gráfica 03] Análisis de dos variables:
Porcentaje de añadido (%) y peso
Incluyendo (1) Y/PP/1,5% y REF-1

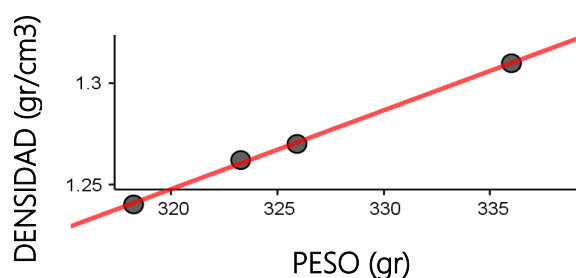


[Gráfica 04] Análisis de dos variables:
Porcentaje de añadido (%) y peso
No Incluyendo (1) Y/PP/1,5% y REF-1

Completamos ahora el análisis de la relación existente entre Porcentaje de añadido y peso de las probetas ya que hemos detectado los valores erróneos de las dos probetas señaladas previamente. En esta ocasión detectamos en la Gráfica 03, que incluye los valores erróneos, que existen menos irregularidades que en la Gráfica 01 de densidad y porcentaje de adición. Sin embargo, el índice de correlación no deja de mejorar en esta situación al igual que en la anterior: de un $(r)=0.8859$ pasamos a un $(r)=0.9951$, lo cual es una mejoría leve, pero se aproxima a la unidad. Independientemente de dicha correlación, podemos afirmar que el peso y la densidad son en su mayoría directamente proporcionales al porcentaje de adición, ya que estos valores aumentan en consonancia a dicho añadido, aunque, como hemos mencionado previamente, los errores en el volumen medido hacen que esta afirmación no sea 100% cierta.



[Gráfica 05] Análisis de dos variables:
Densidad y peso
Incluyendo (1) Y/PP/1,5% y REF-1



[Gráfica 06] Análisis de dos variables:
Densidad y peso
No incluyendo (1) Y/PP/1,5% y REF-1

Finalizamos el análisis de peso y densidad con la relación entre las mismas. En este caso se repite el mismo patrón que en los dos casos anteriores, de una $(r)=0,5687$ en la gráfica 05 pasamos a un $(r)=0.9993$; lo cual es un valor bastante más óptimo que el primero. Deducimos que a medida que aumenta el peso aumenta la densidad, lo cual es obvio.

CONCLUSIONES PESO Y DENSIDAD

Concluimos esta primera parte de análisis relativa a peso y densidad de las probetas con la negativa de no poder utilizar el nuevo material como elemento aligerante, ya que su peso es superior al del yeso sin aditivos.

En contraposición a esto aún pueden obtenerse beneficios de las propiedades mecánicas que se vean mejoradas en relación a las resistencias tanto a compresión como a flexión, las cuales pasaremos a analizar a continuación. En dichos análisis no se tendrán en cuenta las probetas descartadas previamente.

	MEDIA							
	PESO	10 KG l/s	FLEXIÓN (+f)	COMPRESIÓN (16Kg f/s)	RES. FLEXIÓN	RES. COMPRESIÓN	DENSIDAD	
Y/PP/1,5%	359.65	0.160	1.93	1.94	3.68	12.04	12.14	1.40
Y/PP/3%	325.92	0.174	1.69	1.72	4.00	10.56	10.72	1.27
Y/PP/6%	336.01	0.240	1.63	1.59	5.52	10.20	9.96	1.31
REF	318.09	0.166	1.79	1.60	3.82	11.19	10.00	1.24

[Tabla. 08] Media sin descartar las probetas erróneas (1) Y/PP/1,5% y REF-1

MEDIA (Descartando Probetas Y/PP/1,5-1 y Y/REF-1)									
	PESO	10 KG l/s	FLEXIÓN (+f)	COMPRESIÓN (16Kg f/s)		RES. FLEXIÓN	RESISTENCIA COMPRESIÓN		DENSIDAD
Y/PP/1,5%	323.276	0.160	1.93	1.94	1.94	3.79	12.04	12.14	1.26
Y/PP/3%	325.923	0.174	1.69	1.72	1.72	4.00	10.56	10.72	1.27
Y/PP/6%	336.005	0.240	1.63	1.59	1.59	5.52	10.20	9.96	1.31
REF	318.24	0.1652	1.90	1.89	1.89	3.80	11.88	11.83	1.24

[Tabla. 09]: Media descartando las probetas erróneas (1) Y/PP/1,5% y REF-1

5.3 ENSAYOS MECÁNICOS

Continuamos con los ensayos de caracterización mecánicos, una vez que hemos descartado las probetas erróneas, para comprobar las propiedades que obtiene el yeso al añadirle las fibras de polipropileno, diferenciando entre las proporciones de 1,5%, 3% y 6%.

Se ha seguido la Norma UNE EN-13279-2:2014. [21] más concretamente la UNE EN-196:2018. "Métodos de ensayos de cementos. Parte 1: Determinación de resistencias mecánicas" [22]. En dicha normativa se enuncia el procedimiento a seguir para realizar los ensayos, tanto de rotura a flexión como de rotura a compresión, el cual hemos seguido para la elaboración de este documento.

5.3.1 RESISTENCIA A FLEXIÓN

Se procede a analizar en detenimiento la resistencia a flexión de las probetas de dimensiones 40 x 40 x 160 mm conformadas cada una con un porcentaje de aditivo diferente. En dicho análisis se tiene en cuenta el método llevado a cabo para determinar la rotura a flexión, por el cual se aplica sobre cada una de las muestras una carga en tres puntos, hasta llegar a su rotura, de acuerdo con la normativa UNE expresada previamente.

METODOLOGÍA

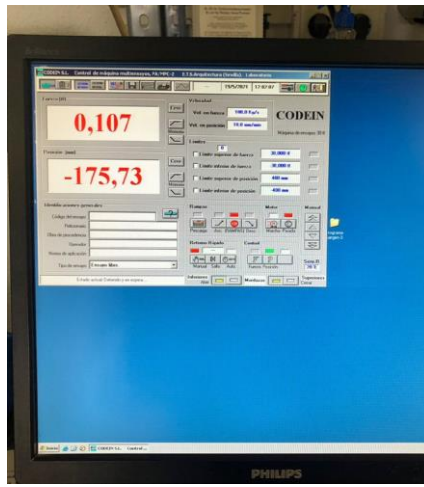
Procedemos a enunciar el procedimiento del ensayo como bien fue descrito en el TFG de referencia ofrecido por los profesores del grupo perteneciente a Sofía Bernousi [20].

"Para ejecutar el ensayo se ha utilizado una prensa multiensayo de 300 kN del Laboratorio de Construcciones Arquitectónicas de la ETSAS. La prensa es de Codein S.L. modelo MCO-30. Esta herramienta trabaja con un software mediante el que se controla la fuerza que se debe ejercer sobre las probetas, así como nos proporciona los datos de rotura de éstas guardando éstos en su base de datos. Dicho ensayo es denominado como "Ensayo de tres puntos" y se basa en aplicar una carga máxima de 10 t/s a una velocidad de 0,5 Mpa/s, de modo que la rotura se produzca entre 30 y 90 segundos, de acuerdo con la norma UNE EN-196:1:2018"

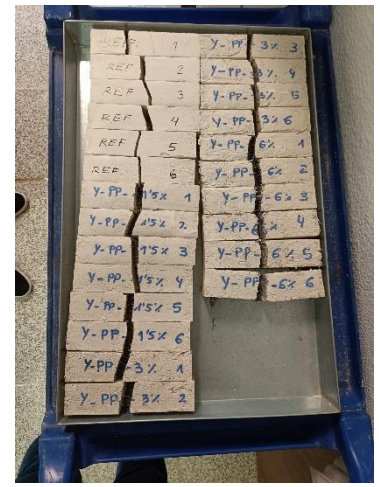
Procederemos a mostrar la información gráfica de los elementos empleados en el ensayo, tanto la máquina descrita previamente como el software informático, así como nuestras probetas el día que se realizó la rotura de las mismas.



[Fig. 33] Máquina utilizada para los ensayos. Sofía Bernousi



[Fig. 34] Software informático utilizado. Sofía Bernousi



[Fig. 35] Conjunto de probetas realizadas para los ensayos. EP

La máquina de la figura 41 cuenta con unos rodillos de apoyo, los cuales según la norma UNE citada anteriormente deben estar separados 100 mm, los cuales evitan que se realice un esfuerzo a torsión por parte de las probetas. A los 9 días de haber realizado el ensayo se procede a la rotura de las probetas, las cuales están ilustradas a continuación, aunque las fotografías son de algunos días después de esto:



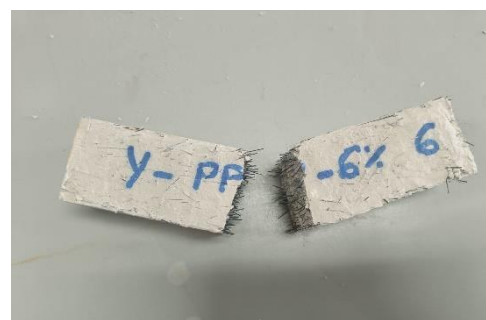
[Fig. 36] Probetas de referencia



[Fig. 37] Probeta 1,5% añadido



[Fig. 38] Probeta 3% añadido



[Fig. 39] Probeta 6% añadido

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Procedemos ahora a analizar los valores unidimensionales y bidimensionales de la resistencia a flexión, comprobando si las variables de coeficiente de variación y varianza son valores razonables. Se estudiará entonces media, mediana y cuartiles. Esto se lleva a cabo tras haber realizado el ensayo de las probetas con la prensa multiensayo de 300kN y haber pasado los datos de carga de rotura a flexión en este caso (t/s) a resistencia a flexión (unidad N/mm²) a través de las fórmulas enunciadas en la Norma UNE EN-196:1:2018 A través de la ecuación $f=1,5*(F \cdot l / b \cdot d \cdot 2)$, siendo F la carga y l la longitud entre apoyos, b la base y d la altura de la probeta, obtenemos los valores correspondientes.

ANÁLISIS UNIDIMENSIONAL RESISTENCIA A FLEXIÓN

a. Probeta de Referencia 0%



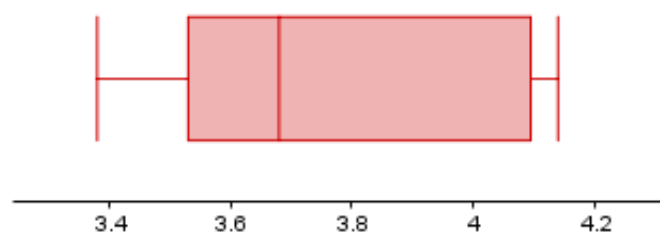
[Gráfica 07] Diagrama de caja de flexión sin adición

En el diagrama de caja de resistencia a flexión de las probetas de referencia indica que su valor intercuartílico (Q3-Q1) se encuentra en una posición centrada, lo cual es correcto, así como su coeficiente de variación, que se encuentra entre 0 y 1 ($Cv=0,054$). Podemos considerar la distribución de forma homogénea.

MORTERO YESO REFERENCIA (SIN ADICIÓN) - Y/PP/REF							
ANÁLISIS RESISTENCIA A FLEXIÓN							
MEDIA	MÍN.	Q1	MEDIANA	Q3	MÁX.	VARIANZA	C.V
3.8	3.52	3.6	3.77	4.015	4.12	0.2041	0.054

[Tabla. 10] Análisis resistencia a flexión Y/PP/REF

b. Probeta de 1,5%



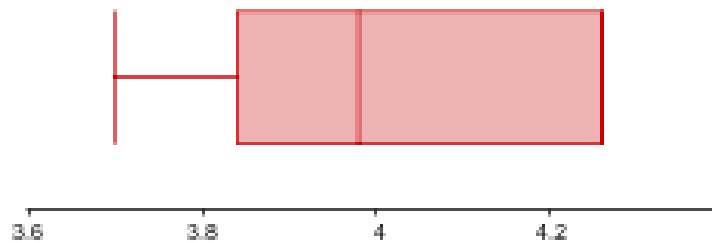
[Gráfica 08] Diagrama de caja de flexión 1,5%

En el diagrama de caja de resistencia a flexión de las probetas de 1,5% indica que su valor intercuartílico (Q3-Q1) se encuentra en una posición centrada, lo cual es correcto, así como su coeficiente de variación, que se encuentra entre 0 y 1 ($Cv=0,073$). Podemos considerar la distribución de forma homogénea.

MORTERO YESO - Y/PP/1,5%							
ANÁLISIS RESISTENCIA A FLEXIÓN							
MEDIA	MÍN.	Q1	MEDIANA	Q3	MÁX.	VARIANZA	C.V
3.786	3.38	3.53	3.68	4.095	4.14	0.2765	0.073

[Tabla. 11] Análisis resistencia a flexión Y/PP/1,5%

c. Probeta de 3%



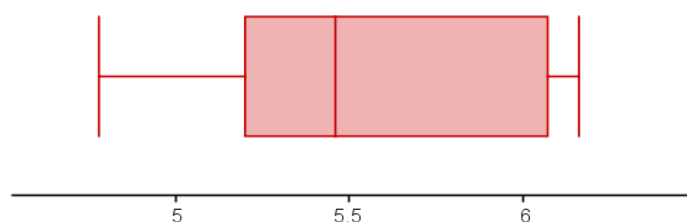
[Gráfica 09] Diagrama de caja de flexión 3%

En el diagrama de caja de resistencia a flexión de las probetas de 3% indica que su valor intercuartílico (Q3-Q1) se encuentra en una posición centrada, aunque Q3 se encuentre cercano al extremo sigue siendo correcto, así como su coeficiente de variación, que se encuentra entre 0 y 1 ($Cv=0,052$). Podemos considerar la distribución de forma homogénea.

MORTERO YESO - Y/PP/3%							
ANÁLISIS RESISTENCIA A FLEXIÓN							
MEDIA	MÍN.	Q1	MEDIANA	Q3	MÁX.	VARIANZA	C.V
4.0033	3.7	3.84	3.98	4.26	4.26	0.2087	0.052

[Tabla. 12] Análisis resistencia a flexión Y/PP/3%

d. Probeta de 6%



[Gráfica 10] Diagrama de caja de flexión 6%

En el diagrama de caja de resistencia a flexión de las probetas de 6% indica que su valor intercuartílico (Q3-Q1) se encuentra en una posición centrada, lo cual es correcto, así como su coeficiente de variación, que se encuentra entre 0 y 1 ($Cv=0,087$). Podemos considerar la distribución de forma homogénea.

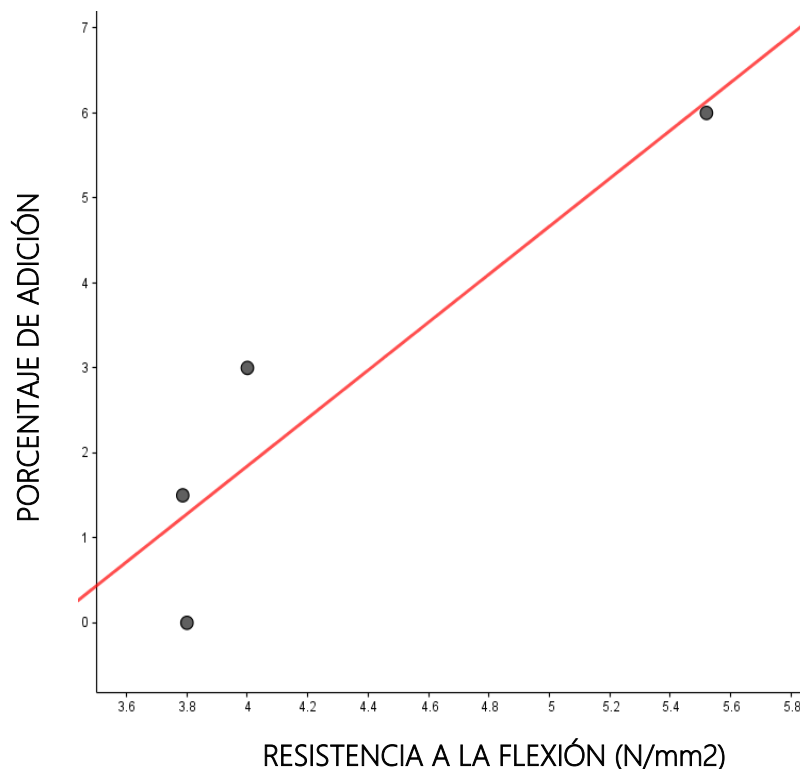
MORTERO YESO - Y/PP/6%							
ANÁLISIS RESISTENCIA A FLEXIÓN							
MEDIA	MÍN.	Q1	MEDIANA	Q3	MÁX.	VARIANZA	C.V
5.5217	4.78	5.2	5.46	5.46	6.16	0.4799	0.087

[Tabla. 13] Análisis resistencia a flexión Y/PP/6%

ANÁLISIS BIDIMENSIONAL RESISTENCIA A FLEXIÓN

Procedemos a realizar el análisis bidimensional de la resistencia a flexión en relación al porcentaje de aditivo para así extraer una serie de conclusiones que nos indiquen si es propicio utilizar el nuevo material en usos que demanden de dicha resistencia (falsos techos, por ejemplo). Como puede observarse, el coeficiente de correlación de la gráfica, ($r=0.907$), nos ofrece un dato muy positivo, ya que este coeficiente indica el grado de relación entre dos variables, el cual aumenta conforme se aproxima al valor 1.

$$y = 2,82x - 9,44.$$



[Gráfica 11] Gráfica relación porcentaje de adición / resistencia a la flexión

Como podemos observar en la gráfica 11, la resistencia a la flexión de un conglomerado realizado con yeso y fibras de polipropileno proveniente de filamentos de cabezales de escoba reciclados es directamente proporcional al valor de aditivo: La resistencia a flexión aumenta conforme aumentamos el número de fibras en casi un 50% (45,46%).

Esto es un resultado positivo ya que podremos buscar una aplicación para el nuevo material relacionada con esta propiedad, como, por ejemplo, falsos techos, o la que escogeremos en el caso práctico de este estudio, los trasdosados autoportantes que, si bien aprovechan más la resistencia a compresión, también podemos beneficiarnos de esta propiedad.

MEDIAS PROBETAS DE MORTERO YESO		
ANÁLISIS RESISTENCIA A COMPRESIÓN/DOSIFICACIÓN		
PROBETAS	Resistencia a Flexión	
	Media	DOSIFICACIÓN
	N/mm ²	%
Y/PP/1,5%	3.79	1,5%
Y/PP/3%	4.00	3%
Y/PP/6%	5.52	6%
REF	3.80	0%

[Tabla. 14] Media probetas de mortero de yeso. Relación entre resistencia a flexión y dosificación

5.3.2 RESISTENCIA A COMPRESIÓN

Procede a analizarse en detenimiento la resistencia a compresión de las probetas de dimensiones 40x40 x160 mm conformadas cada una con un porcentaje de aditivo diferente, para ello se tiene en cuenta el procedimiento enunciado en la Norma UNE consistente en conservar las dos mitades de la probeta ya rota para someterlas a dicho ensayo. La unidad que nos ofrece el laboratorio no es la correcta para su análisis, la cual debería ser N/mm².

METODOLOGÍA

Para la elaboración de dicho ensayo se utilizará la misma prensa que ya se utilizó para calcular la resistencia a flexión, sin embargo, en esta ocasión se aplicará una carga superficial con un rectángulo de 40x40 mm, en lugar de una carga puntual como en el ensayo anterior.

Una vez más citamos a la compañera que realizó el TFG que los profesores del Grupo H nos ofrecen para utilizarlo de referencia (Sofía Bernousi):

“De acuerdo con la norma de referencia para este tipo de ensayo comentada anteriormente UNE EN-196-1:2018, la máquina utilizada está compuesta por dos platos de soporte de acero con una dureza Vickers mínima de 600 HV, establecida por la norma UNE-EN ISO 6507-1:2006. Tanto la rigidez de los platos, como la forma de transmitir la carga son similares que la de flexión cumple lo establecido por la norma. Por otra parte, uno de estos platos debe ser basculante, para poder ajustarse a la probeta, mientras que el segundo debe ser fijo, que no presente desviaciones mayores a 0,05 mm respecto a la superficie plana”. [20]

Se comprueba entonces que las probetas han fraguado según normativa y se somete a las mismas a la carga superficial a compresión, siendo la probeta colocada de forma inversa a la forma en que se hace en los ensayos a flexión. La carga máxima es de 16 t/s y velocidad 0,5MPa/s. Se intenta conseguir que la rotura no se produzca en un tiempo menor a 1 minuto, como dictamina la Norma UNE.

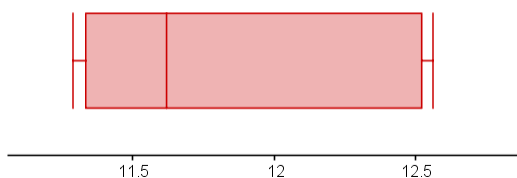
El paso final consiste en calcular la resistencia a compresión a través de la rotura a compresión tal como se estipula en la norma, a través de la fórmula: $f = C / b * 2$, donde b es la dimensión de la base y C la carga obtenida de los resultados obtenidos.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

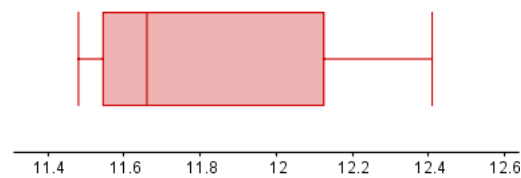
Procedemos ahora a analizar los valores unidimensionales y bidimensionales de la resistencia a compresión, comprobando si las variables de coeficiente de variación y varianza son valores razonables. Se estudiará entonces media, mediana y cuartiles. Esto se lleva a cabo tras haber realizado el ensayo de las probetas como se ha enunciado y haber pasado los datos de carga de rotura a compresión a la unidad correspondiente establecida por la Norma UNE EN-196:1:2018.

ANÁLISIS UNIDIMENSIONAL RESISTENCIA A COMPRESIÓN

a. Probeta de Referencia 0%



[Gráfica 12] Diagrama de caja de compresión, REF cara A



[Gráfica 13] Diagrama de caja de compresión, REF cara B

En el diagrama de caja de resistencia a compresión de las probetas de referencia se indica que su valor intercuartílico (Q3-Q1) se encuentra en una posición centrada, lo cual es correcto, así como sus coeficientes de variación, que se encuentra entre 0 y 1 ($Cv=0,046$ y $0,028$). Podemos considerar la distribución de forma homogénea en ambas caras, así como intuir cómo se produjo la rotura por la forma de los diagramas.

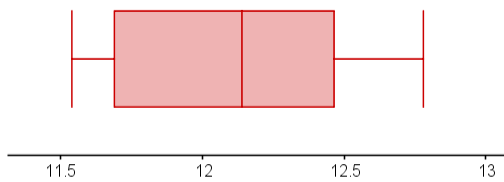
MORTERO YESO REFERENCIA (SIN ADICIÓN) - Y/PP/REF							
ANÁLISIS RESISTENCIA A COMPRESIÓN A							
MEDIA	MÍN.	Q1	MEDIANA	Q3	MÁX.	VARIANZA	C.V
11.866	11.29	11.335	11.62	12.52	12.56	0.5454	0.046

[Tabla. 15] Análisis resistencia a compresión Y/PP/REF cara A

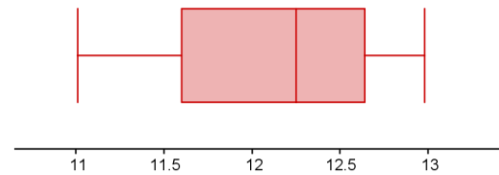
MORTERO YESO REFERENCIA (SIN ADICIÓN) - Y/PP/REF							
ANÁLISIS RESISTENCIA A COMPRESIÓN B							
MEDIA	MÍN.	Q1	MEDIANA	Q3	MÁX.	VARIANZA	C.V
11.8	11.48	11.545	11.66	12.125	<u>12.41</u>	0.3261	0.028

[Tabla. 16] Análisis resistencia a compresión Y/PP/REF cara B

b. Probeta de 1,5%



[Gráfica 14] Diagrama de caja de compresión, 1,5% cara A



[Gráfica 15] Diagrama de caja de compresión, 1,5% cara B

En el diagrama de caja de resistencia a compresión de las probetas de 1,5% se indica que su valor intercuartílico (Q3-Q1) se encuentra en una posición centrada, lo cual es correcto, así como sus coeficientes de variación, que se encuentra entre 0 y 1 ($Cv=0,034$ y $0,052$). Podemos considerar la distribución de forma homogénea en ambas caras, así como intuir cómo se produjo la rotura por la forma de los diagramas.

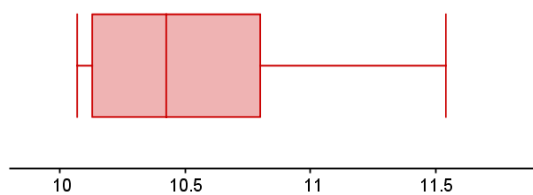
MORTERO YESO - Y/PP/1,5%							
ANÁLISIS RESISTENCIA A COMPRESIÓN A							
MEDIA	MÍN.	Q1	MEDIANA	Q3	MÁX.	VARIANZA	C.V
12.09	11.54	11.81	11.99	12.15	12.78	0.4116	0.034

[Tabla. 17] Análisis resistencia a compresión Y/PP/1,5% cara A

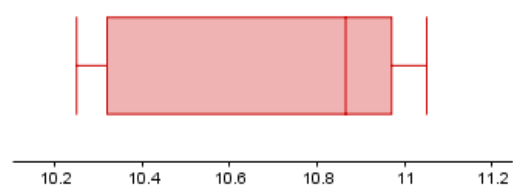
MORTERO YESO - Y/PP/1,5%							
ANÁLISIS RESISTENCIA A COMPRESIÓN B							
MEDIA	MÍN.	Q1	MEDIANA	Q3	MÁX.	VARIANZA	C.V
12.146	11.01	12.09	12.22	12.3	12.98	0.636	0.052

[Tabla. 18] Análisis resistencia a compresión Y/PP/1,5% cara B

c. Probeta de 3%



[Gráfica 16] Diagrama de caja de compresión, 3% cara A



[Gráfica 17] Diagrama de caja de compresión, 3% cara B

En el diagrama de caja de resistencia a compresión de las probetas de 3% se indica que su valor intercuartílico ($Q_3 - Q_1$) se encuentra en una posición centrada, lo cual es correcto, así como sus coeficientes de variación, que se encuentra entre 0 y 1 ($C_v = 0,050$ y $0,030$). Podemos considerar la distribución de forma homogénea en ambas caras, así como intuir cómo se produjo la rotura por la forma de los diagramas.

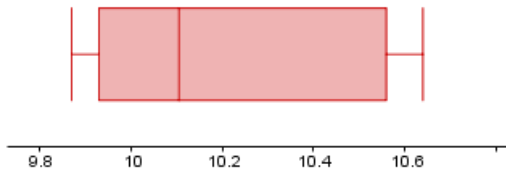
MORTERO YESO - Y/PP/3%							
ANÁLISIS RESISTENCIA A COMPRESIÓN A							
MEDIA	MÍN.	Q1	MEDIANA	Q3	MÁX.	VARIANZA	C.V
10.565	10.07	10.13	10.425	10.8	11.54	0.5231	0.050

[Tabla. 19] Análisis resistencia a compresión Y/PP/3% cara A

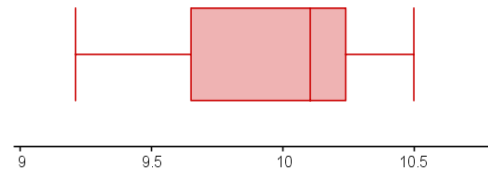
MORTERO YESO - Y/PP/3%							
ANÁLISIS RESISTENCIA A COMPRESIÓN B							
MEDIA	MÍN.	Q1	MEDIANA	Q3	MÁX.	VARIANZA	C.V
10.72	10.25	10.32	10.865	10.97	11.05	0.3177	0.030

[Tabla. 20] Análisis resistencia a compresión Y/PP/3% cara B

d. Probeta de 6%



[Gráfica 18] Diagrama de caja de compresión, 6% cara A



[Gráfica 19] Diagrama de caja de compresión, 6% cara B

En el diagrama de caja de resistencia a compresión de las probetas de 6% se indica que su valor intercuartílico (Q3-Q1) se encuentra en una posición centrada, lo cual es correcto, así como sus coeficientes de variación, que se encuentra entre 0 y 1 ($Cv=0,030$ y $0,042$). Podemos considerar la distribución de forma homogénea en ambas caras, así como intuir cómo se produjo la rotura por la forma de los diagramas.

MORTERO YESO - Y/PP/6%							
ANÁLISIS RESISTENCIA A COMPRESIÓN A							
MEDIA	MÍN.	Q1	MEDIANA	Q3	MÁX.	VARIANZA	C.V
10.2017	9.87	9.93	10.105	10.56	10.64	0.3039	0.030

[Tabla. 20] Análisis resistencia a compresión Y/PP/6% cara A

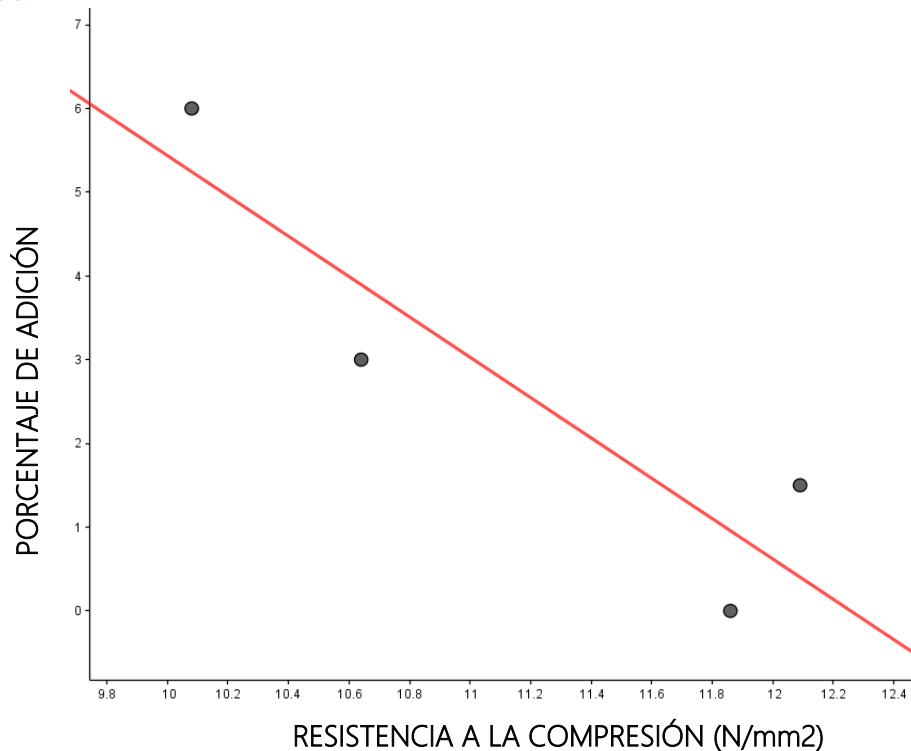
MORTERO YESO - Y/PP/6%							
ANÁLISIS RESISTENCIA A COMPRESIÓN B							
MEDIA	MÍN.	Q1	MEDIANA	Q3	MÁX.	VARIANZA	C.V
9.9683	9.21	9.65	10.105	10.24	10.5	0.4224	0.042

[Tabla. 21] Análisis resistencia a compresión Y/PP/6% cara B

ANÁLISIS BIDIMENSIONAL RESISTENCIA A COMPRESIÓN

Procedemos a realizar el análisis bidimensional de la resistencia a compresión en relación al porcentaje de aditivo para así extraer una serie de conclusiones que nos indiquen si es propicio utilizar el nuevo material en usos que demanden de dicha resistencia (tabiquería, trasdosados). El coeficiente de correlación en esta ocasión es igual que en el análisis bidimensional de resistencia a flexión, ($r=0.907$), lo cual, como ya se ha mencionado previamente, es un valor positivo, pues su proximidad a 1 nos indica la relación que existe entre las dos variables, en este caso resistencia a la compresión y porcentaje de adición.

$$y = -0,34x + 12,06$$



[Gráfica 20] Gráfica relación porcentaje de adición / resistencia a la compresión

Como puede observarse en la gráfica 20, la resistencia a la compresión de un conglomerado realizado con yeso y fibras de polipropileno proveniente de filamentos de cabezales de escoba reciclados es inversamente proporcional al valor de aditivo: La resistencia a compresión disminuye conforme aumentamos el número de fibras.

Este resultado no es del todo negativo, ya que aunque la resistencia a compresión no mejore e incluso empeore en algunos casos, aún puede ser de aplicación dicho material en trasdosados y tabiquería autoportante, por ejemplo, debido a que, tal como comprobamos en el análisis del peso y la densidad, podríamos obtener unos valores de resistencia a la compresión similares a los de un yeso comercial (al emplear un porcentaje de adición de un 1,5%, por ejemplo) con menor sección, lo que reduciría considerablemente la cantidad de material que deberíamos utilizar.

MEDIAS PROBETAS DE MORTERO YESO				
ANÁLISIS RESISTENCIA A COMPRESIÓN/DOSIFICACIÓN				
PROBETAS	Resistencia a Compresión			DOSIFICACIÓN
	Mitad A	Mitad B	Media A+B	
	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	
Y/PP/1,5%	12.04	12.14	<u>12.09</u>	1,5%
Y/PP/3%	10.56	10.72	<u>10.64</u>	3%
Y/PP/6%	10.20	9.96	<u>10.08</u>	6%
REF	11.88	11.83	<u>11.86</u>	0%

[Tabla. 22] Media probetas de mortero de yeso. Relación entre resistencia a compresión y dosificación

5.4 CONCLUSIONES FINALES DEL ANÁLISIS

Se proceden a enunciar ahora las conclusiones finales obtenidas tras haber analizado en profundidad los resultados obtenidos en los ensayos realizados en laboratorio, así como a resumir las principales propiedades del nuevo material conformado a partir de Yeso aditivado con fibras de polipropileno.

Con respecto a las suposiciones realizadas en el punto de Hipótesis podemos confirmar que la primera de ellas, en la que creíamos que el material sería menos denso, era errónea. Las fibras de PP no actúan como material aligerante, sino al contrario. La segunda de ellas, en la que se pensaba que sus propiedades mejoraban, era cierta en parte, debido a que la resistencia a flexión sí mejora, pero a compresión no. También debemos tener en cuenta que el volumen de algunas de las probetas de incluso el mismo porcentaje de adición varía debido a errores en la fabricación de las mismas (mayor cantidad de añadido, probetas combadas), por lo que pueden existir también errores en el cálculo.

Continuando con las propiedades mecánicas, hemos podido comprobar, en primer lugar y con referencia a la resistencia a la flexión, que esta aumenta proporcionalmente al porcentaje de adición de las fibras en un 45,46%, lo cual es un dato positivo ya que se podrá aplicar el nuevo material en elementos constructivos que se beneficien de la resistencia a este esfuerzo.

Por otro lado, el análisis de la resistencia a compresión nos ofreció un resultado parcialmente negativo, ya que los gráficos indican que es inversamente proporcional al porcentaje de aditivo. No obstante, con un porcentaje de aplicación de un 1,5% esta mejoraba parcialmente.

Este resultado es normal e incluso predecible, ya que lo habitual no es que un material vea mejoradas ambas propiedades al verse sometido a la adición de este tipo de fibras, al igual que ya se comprobó en el estudio científico realizado en 1988 y ya referenciado en este trabajo, en el que se afirma que lo ideal es un 2% de porcentaje de adición [19].

- Peso: Aumenta con el porcentaje de adición.
- Densidad: Aumenta con el porcentaje de adición.
- Resistencia a flexión: Aumenta un 45,46% a partir de un porcentaje de adición de 1,5%.
- Resistencia a compresión: Disminuye a partir de un porcentaje de adición de 1,5%.

CASO EXCEPCIONAL

Por último, cabe mencionar un caso excepcional encontrado durante el análisis de datos:

PROBETA DE YESO - Y/PP/6%									
	PESO	ROT FLEX (10 KG f/s)	ROT COMPR (16Kg f/s) (16Kg f/s)		RES FLEXIÓN (N/mm2)	RESISTENCIA COMPRESIÓN (N/mm2)		DENS (gr/cm3) (gr/cm3)	
1	360,51	0,208	1,58	1,62	4,78	9,87	10,11	1,24	
2	357,84	0,264	1,69	1,64	6,07	10,56	10,24	1,23	
3	335,81	0,268	1,60	1,62	6,16	9,98	10,10	1,25	
4	326,77	0,234	1,70	1,54	5,38	10,64	9,65	1,24	
5	320,42	0,241	1,64	1,68	5,54	10,23	10,50	1,24	
6	314,68	0,226	1,59	1,47	5,20	9,93	9,21	1,24	

[Tabla. 23] Probetas de yeso 6%

Se trata de la Probeta 6 del porcentaje de añadido 6% (6 de Y/PP/6%). Lo que nos llama la atención de esta probeta en particular es que, pese a formar parte del porcentaje de adición mayor (6%), su peso es el menor de todas las probetas incluyendo las de menor porcentaje de añadido, contradiciendo nuestro análisis de peso y densidad en parte. Sin embargo, su resistencia a la flexión está entre las mejores de todo el conjunto. Su resistencia a compresión, por otro lado, corrobora nuestro análisis. A pesar de ser tan irregular, no se ha eliminado esta probeta del estudio debido a que los valores del índice de correlación de los análisis de dos variables ya eran muy altos con tan solo eliminar las dos probetas ya mencionadas y no ha sido necesario descartarla.

Esto nos deja con dos posibles explicaciones:

a. Volumen aumenta

La explicación más sencilla parece indicar que se trata de un error de fabricación y estemos hablando de una probeta combada. Esto explicaría su bajo peso y densidad, inversamente proporcional al volumen de la misma. Por lo que, una probeta muy voluminosa tendría un peso menor, pero habría que utilizar más material. Como podemos observar en [Fig. 28], este parece ser el caso, debido a que la probeta aparenta un tamaño mayor al resto del mismo porcentaje de adición.

b. Probeta realizada con las condiciones adecuadas

La otra explicación posible y más improbable sería que, al tratarse las fibras de polipropileno de cabezal de escoba de un material heterogéneo, cortado a mano y no a máquina, la cantidad de fibras de que se han añadido a la mezcla, incluso en un mismo porcentaje de adición, es muy variable. Sin embargo, si se realizara una mezcla perfecta con las fibras medidas y cantidad exacta, sería posible crear un material que pesara incluso menos que las probetas de referencia, mientras que su resistencia a flexión mejora considerablemente.

6-DISEÑO DEL PRODUCTO PROPUESTO

DISEÑO DEL PRODUCTO PROPUESTO

Una vez se ha completado el análisis de los resultados de los ensayos de las probetas procedemos con la última parte y objetivo principal de este estudio, elaborar un nuevo producto que sea viable en el sector de la construcción a la vez que sostenible conformado por el nuevo material Yeso-fibras de polipropileno.

El nuevo producto, como se ha demostrado en el análisis de datos de las propiedades mecánicas, aprovechará principalmente la resistencia a la flexión, por lo que lo implementaremos en trasdosados autoportantes. Para corroborar las ventajas y propiedades de nuestro nuevo material, compararemos con un yeso comercializado utilizado también en trasdosados autoportantes, concretamente de la marca Pladur®.

Aunque desde un principio, y a través de varios estudios realizados ya referenciados, conocemos que posiblemente el porcentaje ideal de añadido sea un 2%, debido a que su peso no aumenta en demasía pero sigue consiguiendo una mejora con respecto a la resistencia a la flexión, utilizaremos un 6% de porcentaje de añadido debido a que no pudimos comprobar si esta teoría era cierta, además de ser el porcentaje que más resistencia a flexión brinda al nuevo material, mientras que su resistencia a compresión no baja tanto como para no estar por encima de los valores mínimos permitidos por la normativa UNE EN-520:2005+A1:2010 [23].

Comparamos en primera instancia el yeso sin aditivo (ref.) y la que vamos a usar en nuestro caso (6%):

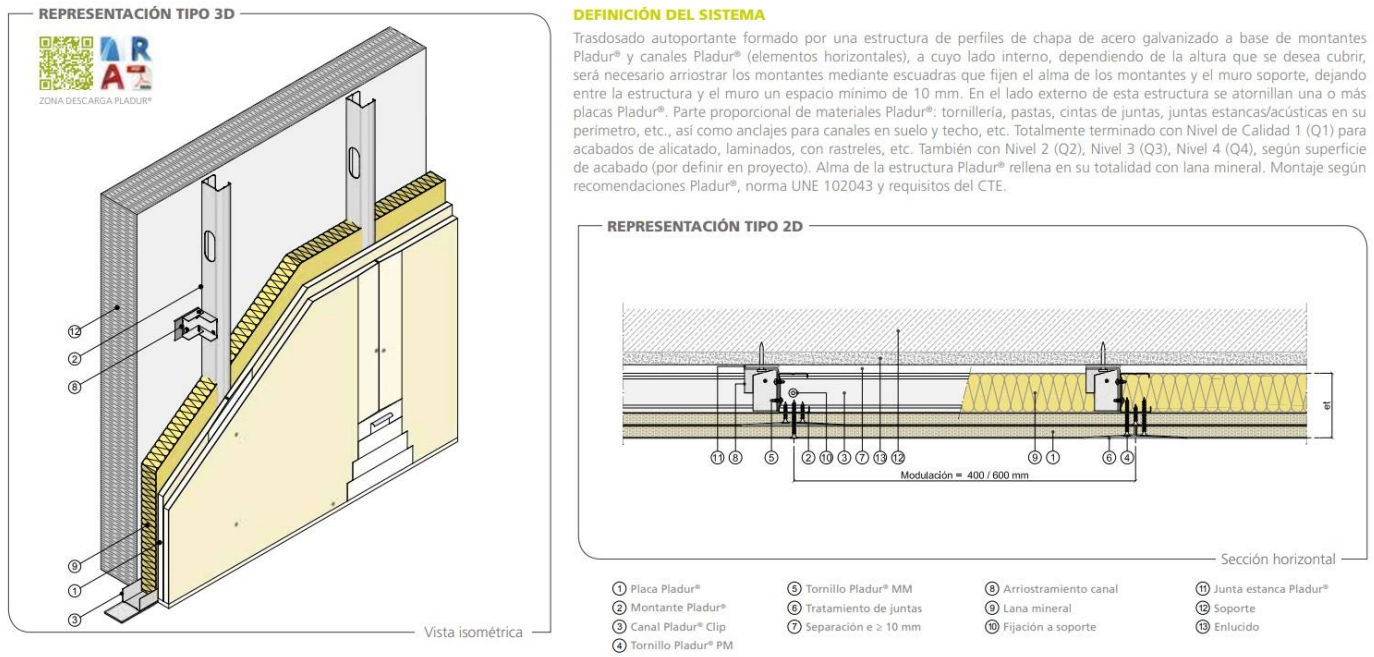
PROPIEDAD	REF (0%)	Y/PP/6%
<i>PESO</i>	318,09	336,01
<i>DENSIDAD</i>	1,24	1,31
<i>RES.FLEX</i>	3,82	5,52
<i>RES. COMP</i>	10,50	10,05

[Tabla. 24] Comparativa propiedades porcentaje aditivo seleccionado y referencia (0%).

Procedemos ahora a comparar con el producto comercial utilizado, TRASDOSADO AUTOPORTANTE PLADUR® 63 (48-35) 1N MW, el cual cuenta con las siguientes características (ANEXO 2):

Altura máxima: **2,8 m**
 Aislamiento acústico - RA: **60 dBA**
 Incremento RA (con muro base de 100 kg/m²): **11 dBA**
 Aislamiento acústico - RA,tr: **55 dBA**
 Incremento RA,tr (con muro base de 100 kg/m²): **10 dBA**
 Peso del sistema: **16 kg/m²**
 Placa Pladur: **Pladur® N**
 Perfil Pladur: **Montante M 48/35 Z1**
 Espesor total del sistema: **73 mm**
 Paramento: **Simple**
 Referencia informe acústica: **10.05/200.139**
 Norma de instalación: **Norma UNE 102043**

[Fig. 40] Propiedades sistema total trasdosado autoportante Pladur®63(48-35) 1N MW. Fuente: Pladur.



CAMPO DE APLICACIÓN

Trasdosado de muros interiores y muros de fachada para incrementar su aislamiento térmico y acústico. Se emplea en todo tipo de obra, si bien está muy indicado en obra nueva, de reforma y rehabilitación.

[Fig. 41] Definición del sistema trasdosado autoportante Pladur®63(48-35) 1N MW. Fuente: Pladur

Como enuncia la definición del sistema, las placas de yeso laminado están conformadas por 100% yeso natural, por lo que será más que conveniente para comparar con nuestro producto, debido a que podemos suponer sus propiedades iguales a las de la probeta de referencia, que también era completamente yeso.

Procedemos a iniciar la comparación entre las dos placas, la placa de yeso laminado de 0% de aditivo (cuyas propiedades vienen citadas por la definición del sistema) y la nuestra de 6% (Y/PP/6%):



Especificaciones	
Modelo	N estandar
Código EAN	8435028300429
Marca	pladur
Ancho de producto	120 cm
Espesor de producto	15 mm
Longitud del producto	260 cm
Peso del producto	33.38
Bordes afinados	Si
Cobertura	3.12
Material	Cartón y yeso laminado
Resistente al fuego	No
Resistente a la humedad	No
Vinílico	No

[Fig. 42] Placa Pladur estándar (260x120cm x 15mm). Fuente: Brico Depot.

Tomaremos las medidas de una placa de Pladur® estándar de unos almacenes comerciales especializados en este tipo de productos. Las medidas de una placa estándar son de 260x120 cm y 15 mm de espesor. Tendremos que adaptar nuestra probeta a las medidas de la placa comercial para poder realizar una comparativa honesta:

PROPIEDAD	Pladur (Yeso 100%)	Yeso + PP(6%)
ESPESOR	15 (mm)	15 (mm)
PESO	10,69 (Kg/m ²)	19,68 (Kg/m ²)
DENSIDAD	706,65 (Kg/m ³)	1310 (Kg/m ³)
RES.FLEX	3,82 (N/mm ²)	5,52 (N/mm ²)
RES. COMP	10,50 (N/mm ²)	10,05 (N/mm ²)

[Tabla. 25] Comparativa placa yeso 100% y placa yeso + fibras PP (6%)

Calculamos para la medida de la placa comercial los valores de peso y densidad por metro cuadrado y cúbico, y tomamos los valores de resistencia a flexión y compresión de los análisis previos debido a que como hemos visto previamente la placa del sistema tiene un alma de yeso 100%.

Al igual que se concluyó en los análisis previos, el peso y densidad de la nueva placa aumenta considerablemente, sin embargo, también lo hace significativamente su resistencia a flexión (en este caso un **30,8%**), mientras que su resistencia a compresión no disminuye lo suficiente como para no poder ser utilizada en obra (en este caso sólo un 6% aprox.).

Esta comparativa de pesos no sería del todo cierta debido a que se utilizan una serie de agentes aligerantes en los productos comercializados que reducen su peso final, lo cual no se ha realizado en nuestro producto con el 6% de adición.

Por otro lado, el impacto medioambiental del nuevo producto también podría reducirse, debido a que podríamos utilizar una placa más fina, la cual originalmente vería reducida su resistencia a flexión, pero al tratarse del material compuesto que hemos desarrollado no lo haría. Por lo tanto, podríamos seleccionar una placa que tuviese una resistencia a la flexión un **30,8% menos** aproximadamente, pero con un espesor menor.

	Espesor	Ancho	Largo	Resistencia a la flexión Long. (N)	Resistencia a la flexión Transv. (N)	Tipo de borde
Placa Pladur N 15x1200x3000 BA	15 mm	1200 mm	3000 mm	260 N/mm ²	750 N/mm ²	Bordes Afinados
Placa Pladur N 15x1200x2700 BA	15 mm	1200 mm	2700 mm	260 N/mm ²	750 N/mm ²	Bordes Afinados
Placa Pladur N 15x1200x2800 BA	15 mm	1200 mm	2800 mm	260 N/mm ²	750 N/mm ²	Bordes Afinados
Placa Pladur N 15x1200x2500 BA	15 mm	1200 mm	2500 mm	260 N/mm ²	750 N/mm ²	Bordes Afinados
Placa Pladur N 15x1200x2600 BA	15 mm	1200 mm	2600 mm	260 N/mm ²	750 N/mm ²	Bordes Afinados
Placa Pladur N 15x1200x2000 BA	15 mm	1200 mm	2000 mm	260 N/mm ²	750 N/mm ²	Bordes Afinados

[Fig. 43] Comparativa Placa Pladur N 15mm. Fuente: Pladur

	Espesor	Ancho	Largo	Resistencia a la flexión Long. (N)	Resistencia a la flexión Transv. (N)	Tipo de borde
Placa Pladur N 10x1200x2500 BA	10 mm	1200 mm	2500 mm	170 N/mm ²	400 N/mm ²	Bordes Afinados
Placa Pladur N 10x1200x3000 BA	10 mm	1200 mm	3000 mm	170 N/mm ²	400 N/mm ²	Bordes Afinados

[Fig. 44] Comparativa Placa Pladur N 10mm. Fuente: Pladur

Si comparamos ambas placas del mismo modelo de la marca Pladur®, una de ellas la que hemos utilizado para comparar, de 15mm, y otra de un espesor menor, 10mm, comprobamos que esta última tiene más o menos un 35% por ciento menos de resistencia a la flexión transversal y longitudinal (N).

Por lo tanto, el nuevo producto nos daría la posibilidad de contar con una placa más fina, pero con las mismas propiedades mecánicas de resistencia a la flexión que una comercializada de mayor espesor, reduciéndose así el impacto medioambiental.

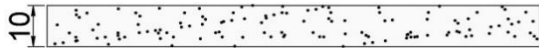


[Fig. 45] Sección placa yeso laminado 15mm Y/PP/6%. Más resistencia a la flexión, más peso.



[Fig. 46] Sección placa yeso laminado 15mm comercial 0%. Menos resistencia a la flexión, menos peso.

PROPUESTA



[Fig. 47] Sección placa yeso laminado 10mm Y/PP/6%. Más resistencia a la flexión, menos sección.

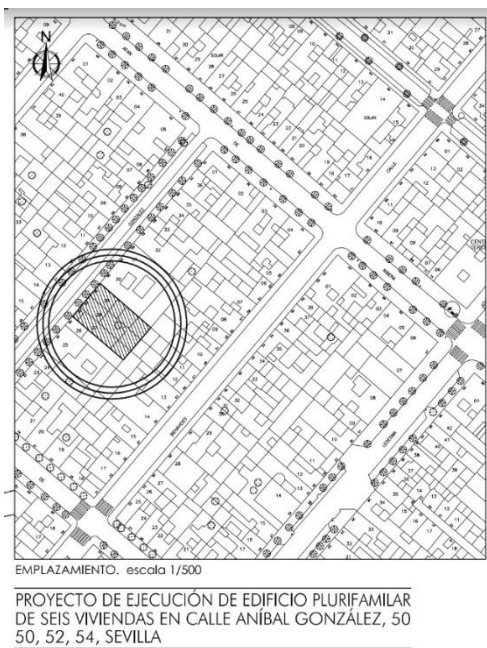


[Fig. 48] Sección placa yeso laminado 15mm comercial 0%. Menos resistencia a la flexión, más sección.

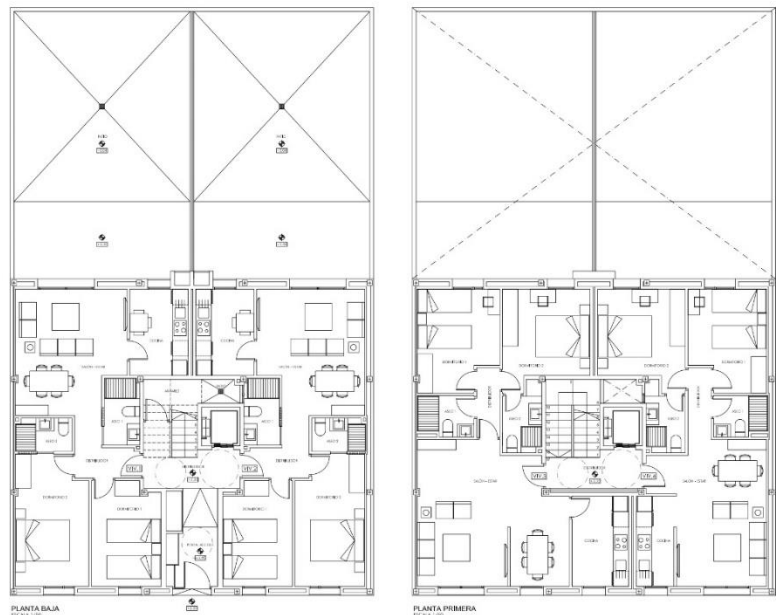
7-APLICACIÓN DEL PRODUCTO A UN CASO PRÁCTICO

DESCRIPCIÓN DEL EDIFICIO

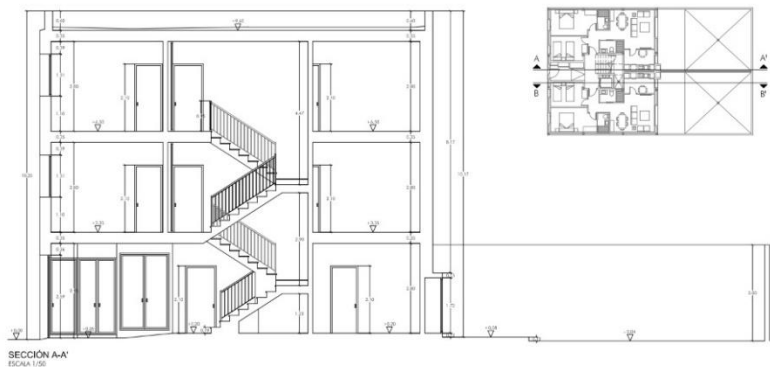
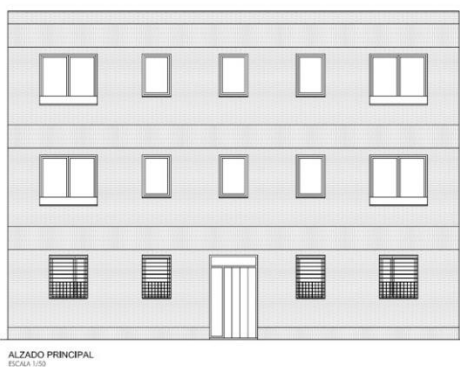
Se procede, una vez desarrollado el nuevo producto previamente, a la aplicación práctica del material en un edificio. En este caso se ha escogido un edificio de viviendas en fase de ejecución de la asignatura Construcción 6, situado en la calle Aníbal González de Sevilla (ANEXO 3). La vivienda cuenta con 3 plantas, baja, primera y segunda, de 2,8 metros de altura cada una, y cubierta no transitable, siendo planta la baja ligeramente diferente de primera y segunda. Es un edificio idóneo para la aplicación del nuevo material debido a que cuenta con varios elementos de tabiquería.



[Fig. 49] Situación vivienda.
Fuente: PE



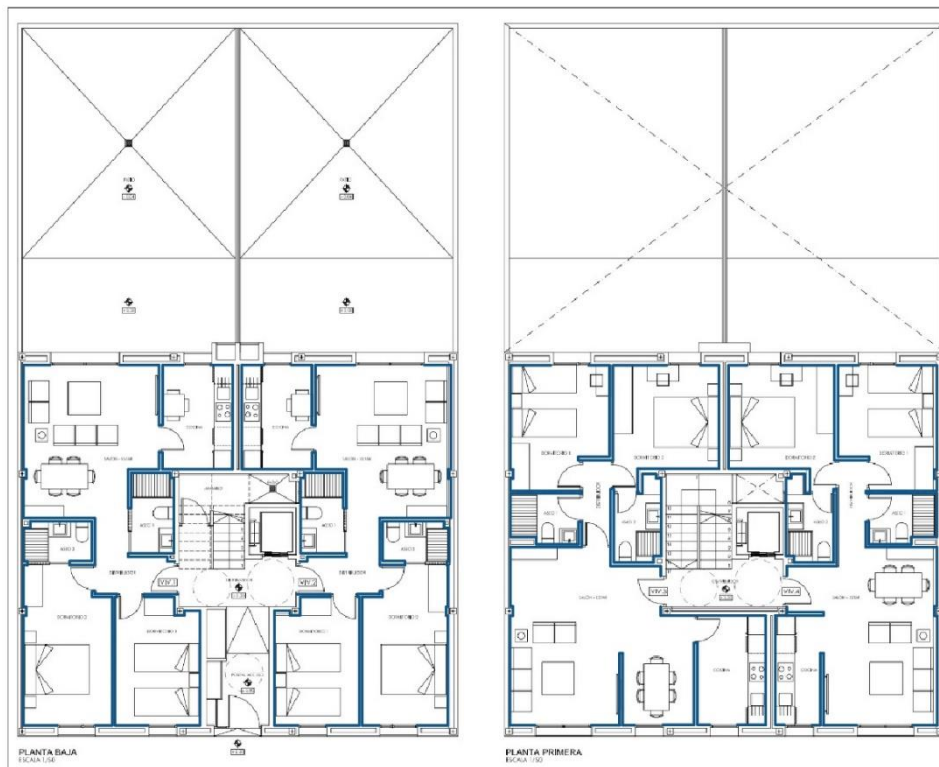
[Fig. 50] Plantas Vivienda. Fuente: PE



[Fig. 51] Alzado y sección Vivienda. Fuente: PE

7.1 APLICACIÓN CASO PRÁCTICO

Para calcular la cantidad de material que necesitaremos, realizamos la medición en metros de ambas caras de particiones interiores y cara interior de los muros de cerramiento. Será una medición aproximada debido a que no contaremos las zonas que tienen huecos como ventanas o puertas, ya que el trasdosado no cubre en esa zona los 2,8 metros de altura completos por los que multiplicaremos los metros lineales.



[Fig. 52] Plantas con tabiquería marcada. Fuente: EP

Planta	Altura	Metros lineales	Metros cuadrados	Total
Baja	2,8 m	129,22	361,816	361,816
1ª y 2ª	2,8 m	140,87	394,4 x 2	788,87

[Tabla. 26] Medición placas yeso laminado para comparativa.

Esto nos haría un total de **1150,68m²**.

A continuación, procederemos a comparar la placa comercial de 15mm de espesor con la nuestra de 10 mm de espesor:

Al tratarse de un material reciclado, el coste de las fibras de polipropileno provenientes de los cabezales de pelos de escoba nos sumará un gasto nulo. Por lo tanto, al tratarse en la práctica de dos placas de yeso laminado del mismo tipo, aunque de diferente espesor, procederemos a comparar sus precios con el comparador Arquímedes del grupo Cype. [24]

Placa	Precio m2	m2	Precio total
15 (mm)	3,50 €	1150,68	4.027,38 €
Y + 6% (10 mm)	3,20 €	1150,68	3.682,18 €

[Tabla. 27] Comparativa precios placas: comercial y nuevo producto.

Sumado a la ventaja que supone una placa de menor espesor, debido a que los costes de transporte se reducirán al poder transportar de una vez más placas, podemos comprobar que se ha conseguido un ahorro del **8,6%**, lo cual es una mejora más que notable si tenemos en cuenta la producción en serie y la reducción del impacto medioambiental.

7.2 IMPACTO MEDIOAMBIENTAL

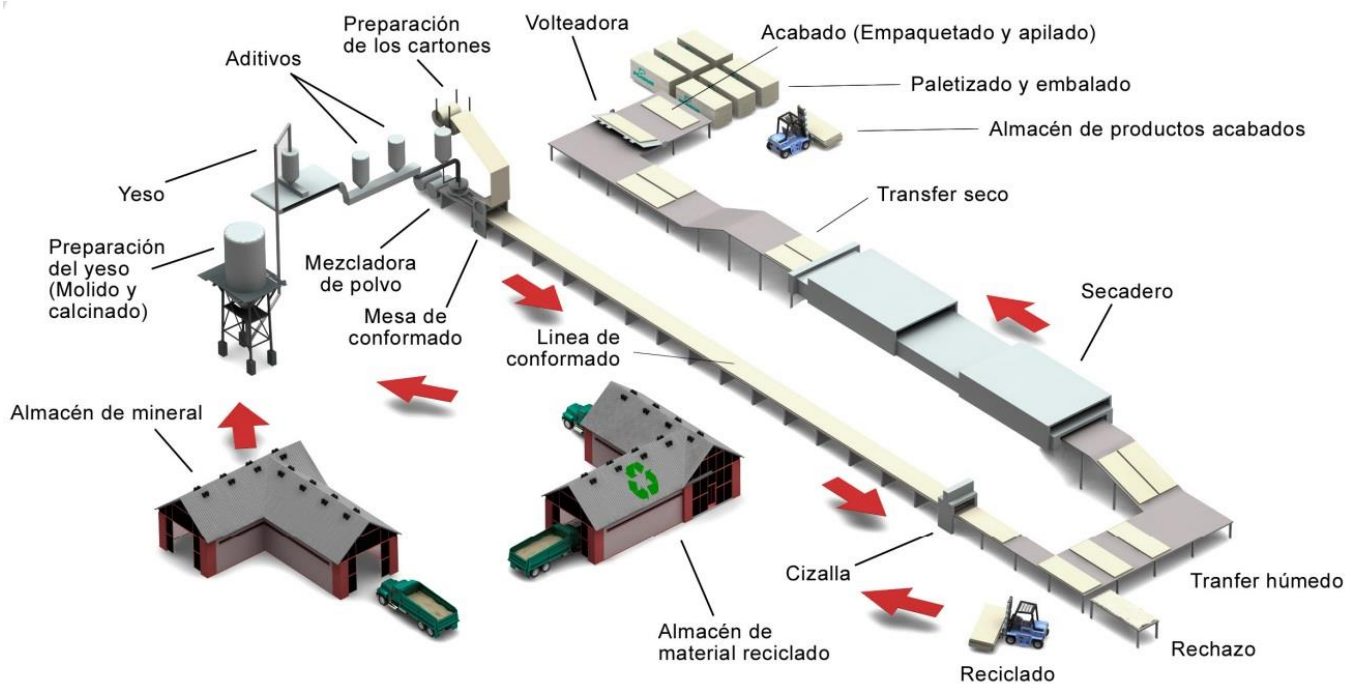


[Fig. 53] Ciclo de vida de los productos reciclados. Fuente: Pladur

Hemos comprobado las ventajas económicas de la elaboración del nuevo material conformado por el yeso aditivado con fibras de polipropileno en un 6%, por lo que terminaremos comparando el impacto medioambiental que producen ambas placas. Para ello, se ha consultado en la Declaración ambiental de producto [25] de Pladur, en este caso de las placas de 15mm y 13mm, ya que no ha sido posible encontrar la declaración ambiental de la placa de 10mm. Sin embargo, podemos hacernos una idea, a través de la comparación de estas dos, del porcentaje de mejora que se lograría con esta última.

En primer lugar, enunciamos, tal y como dice la propia declaración de Pladur, cómo se elaboran estas placas de yeso:

“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”. [25]



[Fig. 54] Diagrama de flujo de proceso de fabricación. Fuente: Pladur

Una vez conocemos el proceso de fabricación de dichas placas de yeso de la marca Pladur, procedemos a mostrar los datos provistos por la empresa misma de impacto medioambiental (recogidos en el ANEXO 4), los cuales detallan con exactitud cada parámetro, sin embargo, en este caso nos centraremos en el impacto que genera la fabricación del producto, para hacer más simple la comparación. Como ya se ha mencionado antes, compararemos las placas de 13 y 15mm para así llegar a una estimación de cuanto se reduciría el impacto con una placa de 10mm:

PLADUR® N13 & N15			
Impactos ambientales	A1 - A3 Producción		
	PLACA N_13	PLACA N_15	Valor medio
Calentamiento global kg CO ₂ eq/UF	3,20E+00	3,94E+00	3,57E+00
Agotamiento de la Capa de Ozono kg CFC 11 eq/UF	1,53E-07	1,71E-07	1,62E-07
Acidificación del suelo y el agua kg SO ₂ eq/UF	6,70E-03	7,63E-03	7,17E-03
Eutrofización kg [PO ₄] ³⁻ eq/UF	8,73E-04	9,93E-04	9,33E-04
Formación de ozono fotoquímico Etileno eq/UF	4,20E-04	4,90E-04	4,55E-04
Agotamiento de recursos abiótico (elementos) kg Sb eq/UF	4,47E-06	5,10E-06	4,79E-06
Agotamiento de recursos abiótico (fósiles) MJ/UF	2,43E+01	2,74E+01	2,58E+01
Contaminación del agua - m ³ /UF	6,71E-01	7,50E-01	7,10E-01
Contaminación del aire - m ³ /UF	4,82E+02	6,03E+02	5,43E+02

[Fig. 55] Impactos ambientales producción Pladur N13 y N15 Fuente: DAP Pladur

Si tomamos como ejemplo el parámetro de Calentamiento global y comparamos ambas placas, comprobamos que en fase de producción el impacto se reduce en un 19%. Si comparamos con otros parámetros comprobaremos que efectivamente existe un patrón de mejora del 19-20% en la mayoría de ellos. Por lo tanto, si comprobamos proporcionalmente, obtenemos que la mejora que se obtendría en el caso de pasar de una placa de 15 mm a una de 10 mm sería aproximadamente del **35%** en la mayoría de los parámetros (siendo este valor una aproximación).

7.3 CONCLUSIONES FINALES

El estudio del caso práctico ha añadido a las ventajas mecánicas del nuevo material estudiadas en el análisis de datos dos propiedades positivas de gran importancia en el mundo actual: económicas y medioambientales. Con la comparación realizada entre una placa comercializada de 15mm y una de 10mm, la cual correspondería con el nuevo material elaborado (Yeso + fibras de polipropileno 6%), se ha evidenciado que se puede realizar una placa más fina sin perder las ventajas que sus características mecánicas ofrecen (en este caso resistencia a flexión), cuando se utiliza como aditivo un material reciclado, en este caso las fibras de polipropileno de los cabezales de escoba. Además, su carácter reciclado también significa una reducción notable del impacto medioambiental que genera la producción de estos materiales.

En resumen, podría concluirse con la propuesta de apertura de líneas de investigación que estudiaran las propiedades de las fibras de polipropileno provenientes de cabezales de escoba aditivadas al yeso. Si bien es verdad que ya existen empresas que han comercializado las fibras de polipropileno como producto individual para ser utilizado en construcción, no existen productos que aprovechen el reciclado de los pelos de escoba como fuente de producción. Como hemos comprobado a lo largo del estudio, esto supondría tanto una ventaja económica para las empresas que lo comercialicen (al tratarse de un desecho reciclado), como una mejora en la reducción del impacto medioambiental producido por materiales similares.

8-BIBLIOGRAFÍA

- [1] Diccionario Etimológico español en línea; "Plástico". (2022) [Online]. <http://etimologias.dechile.net/?pla.stico> [Accedido 10 de abril 2022]
- [2] PlasticEurope; "¿Qué son los plásticos?". (2020) [Online]. <https://www.plasticseurope.org/es/about-plastics/what-are-plastics> [Accedido 10 de abril 2022]
- [3] PlasticEurope; "What are plastics? History". (2020) [Online]. <https://www.plasticseurope.org/es/about-plastics/what-are-plastics/history> [Accedido 10 de abril 2022]
- [4] British Plastic Federation; "How, Is Plastic Made? A Simple Step-By-Step Explanation". (2022) [Online]. <https://www.bpf.co.uk/plastipedia/how-is-plastic-made.aspx> [Accedido 10 de abril 2022]
- [5] Plastic sense foundation; "PET tray vs. PP tray: what is the difference?". (2021) [Online]. <https://fundacionplasticsense.eu/en/pet-tray-vs-pp-tray-what-is-the-difference/> [Accedido 10 de abril 2022]
- [6] PETRA PET Resin Association; "An introduction to PET". (2015) [Online]. http://www.petresin.org/news_introtoPET.asp [Accedido 10 de abril 2022]
- [7] D. K. A. Barnes, F. Galgani, R. C. Thompson, M. Barlaz; "Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments" Philos. (1985-1998).
- [8] Science Advances; "Production, use, and fate of all plastics ever made". (2017) [Online]. <https://www.science.org/doi/10.1126/sciadv.1700782> [Accedido 10 de abril 2022]
- [9] Noticias Parlamento Europeo; "Reciclaje y residuos de plástico en la UE: hechos y cifras". (2018) [Online] <https://www.europarl.europa.eu/news/es/headlines/society/20181212STO21610/reciclaje-y-residuos-de-plastico-en-la-ue-hechos-y-cifras> [Accedido 10 de abril 2022]
- [10] WWF; "Naturaleza sin plástico: evaluación de la ingestión humana de plástico presentes en la naturaleza". (2019) [Online]. wwfes.awsassets.panda.org/downloads/informe_plastic_diet_1.pdf [Accedido 10 de abril 2022]
- [11] Plastics Europe; "Plásticos. Situación en 2020". (2020) [Online]. <https://plasticseurope.org/es/wp-content/uploads/sites/4/2021/11/ES-Plastics-the-facts-WEB-2020-May21-final-updatedJuly2021.pdf> [Accedido 10 de abril 2022]
- [12] Plastics Europe; "Reciclado y recuperación de energía". (2020) [Online]. <https://legacy.plasticseurope.org/es/focus-areas/circular-economy/zero-plastics-landfill/recycling-and-energy-recovery> [Accedido 10 de abril 2022]

- [13] Ciel; "Plastic & Health: The Hidden Costs of a Plastic Planet". (2018)
- [14] Nielsen; "La suciedad de la limpieza". (2016)
- [15] Fortune Bussines Insights; "Household cleaning products market". (2021) [Online]. <https://www.fortunebusinessinsights.com/household-cleaning-products-market-103286> [Accedido 18 de abril 2022]
- [16] SP Berner; "Escobas espacios pequeños". (2021) [Online]. <https://sp-berner.com/> [Accedido 18 de abril 2022]
- [18] Textdelta; "Aplicaciones y ventajas del uso de fibras de polipropileno". (2020) [Online] <https://texdelta.com/blog/aplicaciones-y-ventajas-del-uso-de-fibras-de-polipropileno/#:~:text=Las%20ventajas%20del%20uso%20de,hormig%C3%B3n%20su%20aplicaci%C3%B3n%20es%20directa.> [Accedido 18 de abril 2022]
- [18] Universidad Autónoma de Querétaro (UAQ); "Fibras de PET reciclado en la construcción". (2019) [Online] <https://www.residuosprofesional.com/fibras-pet-reciclado-construccion/> [Accedido 18 de abril 2022]
- [19] D. Alfonso Garcia Santos; "Comportamiento Mecánico de Yeso Reforzado con Polímeros Sintéticos". (1988)
- [20] Sofía Bernousi; "Propuesta de un producto compuesto de poliéster de desechos de fibras textiles en una matriz conglomerante de yeso, y su aplicación a trasdosados autoportantes". (2021)
- [21] UNE-EN 13279-2:2014: "Yeso de construcción y conglomerantes a base de yeso para la construcción". (2014) [Online]. <http://www.aenor.es/>. Normas UNE. AENOR (Asociación Española de Normalización y Certificación Aenor)
- [22] UNE- EN 196-1:2018: "Métodos de ensayo de cementos". (2018) [Online]. <http://www.aenor.es/>. Normas UNE. AENOR (Asociación Española de Normalización y Certificación Aenor).
- [23] UNE EN-520:2005+A1:2010: "Placas de yeso laminado. Definiciones, especificaciones y métodos de ensayo." (2010) [Online] <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0044718>
- [24] Grupo Cype, Arquímedes; "Comparativa de precios placas de yeso laminado Pladur". (2022) [Accedido 14 de junio 2022]
- [25] Pladur; "Declaración ambiental de producto placas Pladur N-13 y N-15". (2015) [Online]. https://www.construbiz.com/images/uploaded/Fichas%20tecnicas/Pladur/construBIZ_documentos_dap_placas_pladur_n13_n15.pdf [Accedido 14 de junio 2022]

FIGURAS

[Fig. 01] istock; "Problemática producción masiva de plástico" [Accedido 14 de junio 2022]

[Fig. 02] Fuentes de producción de plástico. EP

[Fig. 03] PlasticEurope; "Familias de plásticos" (2020) [Online].

<https://www.plasticseurope.org/es/about-plastics/what-are-plastics> [Accedido 10 de abril 2022]

[Fig. 04] PlasticEurope; "Distribución de la demanda de plásticos". (2020) [Online].

<https://www.plasticseurope.org/es/about-plastics/what-are-plastics> [Accedido 10 de abril 2022]

[Fig. 05] WWF; "Naturaleza sin plástico: evaluación de la ingestión humana de plástico presentes en la naturaleza", (2019) [Online]. http://awsassets.panda.org/downloads/analisis_de_estudio_de_ingestion.pdf [Accedido 10 de abril 2022]

[Fig. 06] PlasticsEurope; "Market Research Group (PEMRG) and Conversion Market & Strategy GmbH.

PlasticsEurope, Plastics - the facts" (2020) [Online]. <https://plasticseurope.org/es/resources/market-data/> [Accedido 10 de abril 2022]

[Fig. 07] PlasticsEurope Market Research Group (PEMRG) and Conversion Market & Strategy GmbH; "Distribución de la demanda de los transformadores de plásticos en Europa (UE28+NO/CH) por países". (2020) [Online].

<https://plasticseurope.org/es/resources/market-data/> [Accedido 10 de abril 2022]

[Fig. 08] PlasticsEurope Market Research Group (PEMRG) and Conversion Market & Strategy GmbH; "La

circularidad de los plásticos". (2020) [Online]. <https://plasticseurope.org/es/resources/market-data/> [Accedido 10 de abril 2022]

[Fig. 09] PlasticsEurope Market Research Group (PEMRG) and Conversion Market & Strategy GmbH;

"Tratamiento de residuos plásticos en España". (2020) [Online]. <https://plasticseurope.org/es/plasticos-situacion-en-2019/> [Accedido 10 de abril 2022]

[Fig. 10] PlasticsEurope Market Research Group (PEMRG) and Conversion Market & Strategy GmbH. PlasticsEurope; "Índice de reciclaje y similares post-consumo por países en 2018". (2020) [Online].

<https://plasticseurope.org/es/resources/market-data/> [Accedido 10 de abril 2022]

[Fig. 11] PlasticsEurope Market Research Group (PEMRG) and Conversion Market & Strategy GmbH;

"Demanda de plásticos por segmento y tipo de polímero en Europa en 2019 (UE28+NO/CH)". (2020) [Online]. <https://plasticseurope.org/es/resources/market-data/> [Accedido 10 de abril 2022]

[Fig. 12] Ecoembes, Memoria anual 2020; "Top 6 en reciclado de plásticos del hogar por CC.AA." (2020) [Online].

<https://ecoembes.com/landing/informe-anual-2020/valor-compartido/el-reciclaje-en-2020/> [Accedido 14 de abril 2022]

[Fig. 13] Plastics Europe, Ryan; "A Brief History of Marine Litter Research, in M. Bergmann, L. Gutow, M. Klages (Eds.), Marine Anthropogenic Litter, Berlin Springer", (2015)

[Fig. 14] CIEL; "Diagrama del impacto de los plásticos en el ser humano". (2020) [Online]. CIEL/NonprofitDesign.com. [Accedido 14 de abril 2022]

[Fig. 15] Nielsen; "La suciedad de la limpieza, Diagrama herramientas de limpieza más utilizadas por región." (2016)

[Fig. 16] Ficha técnica fibras de polipropileno, Tecnofibra PP; "ficha técnica de fibras de polipropileno de 6 mm. para el refuerzo de mortero y hormigones".

[Fig. 17] Textdelta, "Fibras de PP y de PET" (2020) [Online]. <https://texdelta.com/blog/aplicaciones-y-ventajas-del-uso-de-fibras-de-polipropileno/> [Accedido 14 de abril 2022]

[Fig. 18] D. Alfonso García Santos, "Comportamiento Mecánico de Yeso Reforzado con Polímeros Sintéticos", Universidad Politécnica de Madrid, (1988)

[Fig. 19] Fibras de polipropileno reciclado de escoba (material de estudio). EP

[Fig. 20] Aplicación de desencofrante en probeta. EP

[Fig. 21] Pesaje porcentajes de adición. EP

[Fig. 22] Vertido de fibras en yeso seco. EP

[Fig. 23] Mezclado fibras con yeso. EP

[Fig. 24] Vertido de agua en la mezcla. EP

[Fig. 25] Probetas 6% de adición. EP

[Fig. 26] Probetas 3% de adición. EP

[Fig. 27] Probetas 1,5% de adición. EP

[Fig. 28] Probetas 6% de adición tras ser sometidas a ensayos. EP

[Fig. 29] Probetas 1,5% de adición tras ser sometidas a ensayos. EP

[Fig. 30] Probeta 1 Y/PP/1.5%. EP

[Fig. 31] Probeta de referencia REF-1. EP

[Fig. 32] Probeta (1) Y/PP/1,5%. EP

[Fig. 33] Sofía Bernousi, "Propuesta de un producto compuesto de poliéster de desechos de fibras textiles en una matriz conglomerante de yeso, y su aplicación a trasdosados autoportantes", Máquina utilizada para los ensayos. (2021)

[Fig. 34] Sofía Bernousi, "Propuesta de un producto compuesto de poliéster de desechos de fibras textiles en una matriz conglomerante de yeso, y su aplicación a trasdosados autoportantes", Software informático utilizado. (2021)

[Fig. 35] Conjunto de probetas realizadas para los ensayos. EP

[Fig. 36] Probetas de referencia. EP

[Fig. 37] Probeta 1,5% añadido. EP

[Fig. 38] Probeta 3% añadido. EP

[Fig. 39] Probeta 6% añadido. EP

[Fig. 40] Pladur, "Propiedades sistema total trasdosado autoportante Pladur® 63(48-35) 1N MW". [Online] <https://corporativo.pladur.com/es-es/sistemas/trasdosados-pladur/autoportante-conmontantes/trasdosado-autoportante-pladur-63-48-35-1n-mw/>. [Accedido 14 de junio 2022]

[Fig. 41] Pladur, "Definición del sistema trasdosado autoportante Pladur® 63(48-35) 1N MW". [Online]. <https://corporativo.pladur.com/es-es/sistemas/trasdosados-pladur/autoportante-conmontantes/trasdosado-autoportante-pladur-63-48-35-1n-mw/> [Accedido 14 de junio 2022]

[Fig. 42] Brico Depot; "Placa Pladur estándar (260x120cmx15mm)". [Online] <https://www.bricodepot.es/placa-de-carton-yeso-estandar-pladur-260-x-120-cm-15-mm-8435028300429> [Accedido 14 de junio 2022]

[Fig. 43] Pladur; "Comparativa Placa Pladur N 15mm". [Online] <https://corporativo.pladur.com/es-es/productos/placas-pladur/aplicaciones-estandar/placa-pladur-n-15x1200/> [Accedido 14 de junio 2022]

[Fig. 44] Pladur; "Comparativa Placa Pladur N 10mm". [Online] <https://corporativo.pladur.com/es-es/productos/placas-pladur/aplicaciones-estandar/placa-pladur-n-10x600/> [Accedido 14 de junio 2022]

[Fig. 45] Sección placa yeso laminado 15mm Y/PP/6%. EP

[Fig. 46] Sección placa yeso laminado 15mm comercial 0%. EP

[Fig. 47] Sección placa yeso laminado 10mm Y/PP/6%. EP

[Fig. 48] Sección placa yeso laminado 15mm comercial 0%. EP

[Fig. 49] Situación vivienda. Proyecto ejecución.

[Fig. 50] Plantas Vivienda. Proyecto ejecución.

[Fig. 51] Alzado y sección Vivienda. Proyecto ejecución.

[Fig. 52] Plantas con tabiquería marcada. EP

[Fig. 53] Pladur; "Declaración ambiental de producto placas Pladur N-13 y N-15" Ciclo de vida de los productos reciclados. (2015) [Online].

https://www.construbiz.com/images/uploaded/Fichas%20tecnicas/Pladur/construBIZ_documentos_dap_placas_pladur_n13_n15.pdf [Accedido 14 de junio 2022]

[Fig. 54] Pladur; "Declaración ambiental de producto placas Pladur N-13 y N-15", Diagrama de flujo de proceso de fabricación. (2015) [Online].

https://www.construbiz.com/images/uploaded/Fichas%20tecnicas/Pladur/construBIZ_documentos_dap_placas_pladur_n13_n15.pdf [Accedido 14 de junio 2022]

[Fig. 55] Pladur, "Declaración ambiental de producto placas Pladur N-13 y N-15", Impactos ambientales producción Pladur N13 y N15 (2015) [Online].

https://www.construbiz.com/images/uploaded/Fichas%20tecnicas/Pladur/construBIZ_documentos_dap_placas_pladur_n13_n15.pdf [Accedido 14 de junio 2022]

TABLAS

- [Tabla. 01] Cálculo de cantidad necesaria de adición. EP
- [Tabla. 02] Resultado de peso de ensayo de probetas de yeso en gramos (gr). EP
- [Tabla. 03] Resultado de densidad aparente de ensayo de probetas de yeso (en g r/cm³). EP
- [Tabla. 04] Resultados generales de probeta de referencia. EP
- [Tabla. 05] Resultados generales de probeta 1,5%. EP
- [Tabla. 06] Resultados generales de probeta 3%. EP
- [Tabla. 07] Resultados generales de probeta 6%. EP
- [Tabla. 08] Media sin descartar las probetas erróneas (1) Y/PP/1,5% y REF-1. EP
- [Tabla. 09] Media descartando las probetas erróneas (1) Y/PP/1,5% y REF-1. EP
- [Tabla. 10] Análisis resistencia a flexión Y/PP/REF. EP
- [Tabla. 11] Análisis resistencia a flexión Y/PP/1,5%. EP
- [Tabla. 12] Análisis resistencia a flexión Y/PP/3%. EP
- [Tabla. 13] Análisis resistencia a flexión Y/PP/6%. EP
- [Tabla. 14] Media probetas de mortero de yeso. Relación entre resistencia a flexión y dosificación. EP
- [Tabla. 15] Análisis resistencia a compresión Y/PP/REF cara A. EP
- [Tabla. 16] Análisis resistencia a compresión Y/PP/REF cara B. EP
- [Tabla. 17] Análisis resistencia a compresión Y/PP/1,5% cara A. EP
- [Tabla. 18] Análisis resistencia a compresión Y/PP/1,5% cara B. EP
- [Tabla. 19] Análisis resistencia a compresión Y/PP/3% cara A. EP
- [Tabla. 20] Análisis resistencia a compresión Y/PP/6% cara A. EP
- [Tabla. 21] Análisis resistencia a compresión Y/PP/6% cara B.

[Tabla. 22] Media probetas de mortero de yeso. Relación entre resistencia a compresión y dosificación. EP

[Tabla. 23] Probetas de yeso 6%. EP

[Tabla. 24] Comparativa propiedades porcentaje aditivo seleccionado y referencia (0%). EP

[Tabla. 25] Comparativa placa yeso 100% y placa yeso + fibras PP (6%). EP

[Tabla. 26] Medición placas yeso laminado para comparativa. EP

[Tabla. 27] Comparativa precios placas: comercial y nuevo producto. EP

GRÁFICOS

[Gráfica. 01] Análisis de dos variables: Porcentaje de añadido (%) y densidad aparente Incluyendo (1) Y/PP/1,5% y REF-1. EP

[Gráfica. 02] Análisis de dos variables: Porcentaje de añadido (%) y densidad aparente No incluyendo (1) Y/PP/1,5% y REF-1. EP

[Gráfica. 03] Análisis de dos variables: Porcentaje de añadido (%) y peso Incluyendo (1) Y/PP/1,5% y REF-1. EP

[Gráfica. 04] Análisis de dos variables: Porcentaje de añadido (%) y peso. No Incluyendo (1) Y/PP/1,5% y REF-1. EP

[Gráfica. 05] Análisis de dos variables: Densidad y peso Incluyendo (1) Y/PP/1,5% y REF-1. EP

[Gráfica. 06] Análisis de dos variables: Densidad y peso No incluyendo (1) Y/PP/1,5% y REF-1. EP

[Gráfica. 07] Diagrama de caja de flexión sin adición. EP

[Gráfica. 08] Diagrama de caja de flexión 1,5%. EP

[Gráfica. 09] Diagrama de caja de flexión 3%. EP

[Gráfica. 10] Diagrama de caja de flexión 6%. EP

[Gráfica. 11] Gráfica relación porcentaje de adición / resistencia a la flexión. EP

[Gráfica. 12] Diagrama de caja de compresión, REF cara A. EP

[Gráfica. 13] Diagrama de caja de compresión, REF cara B. EP

[Gráfica. 14] Diagrama de caja de compresión, 1,5% cara A. EP

[Gráfica. 15] Diagrama de caja de compresión, 1,5% cara B. EP

[Gráfica. 16] Diagrama de caja de compresión, 3% cara A. EP

[Gráfica. 17] Diagrama de caja de compresión, 3% cara B. EP

[Gráfica. 18] Diagrama de caja de compresión, 6% cara A. EP

[Gráfica. 19] Diagrama de caja de compresión, 6% cara B. EP

[Gráfica. 20] Gráfica relación porcentaje de adición / resistencia a la compresión. EP

ANEXOS

ANEXO 1

	PESO	PESO 24H 40°	PESO 48H 40°	10 KG f/s	RTUTURA FLEXIÓN (+f)	RTUTURA COMPRESIÓN (16Kg f/s)	RES. FLEXIÓN	RESISTENCIA COMPRESIÓN	DENSIDAD	D 24H 40°	D 48H 40°
Y/PP/1.5%						A	B	A	B		
1	359,65	324,07	324,7	0,138	1,89	1,94	3,17	11,81	12,09	1,40	1,27
2	335,82	329,59	329,56	0,176	2,05	2,08	4,05	12,78	12,98	1,31	1,29
3	328,59	325,64	325,64	0,18	1,89	1,95	4,14	11,84	12,19	1,28	1,27
4	318,13	317,18	317,17	0,147	1,94	1,76	3,38	12,15	11,01	1,24	1,24
5	316,17	315,34	315,34	0,16	1,94	1,97	3,68	12,14	12,30	1,24	1,23
6	317,67	316,86	316,84	0,16	1,85	1,96	3,68	11,54	12,25	1,24	1,24
Y/PP/3%						A	B	A	B		
1	347,88	320,44	320,43	0,161	1,62	1,65	3,70	10,14	10,32	1,36	1,25
2	323,05	318,25	318,25	0,185	1,71	1,73	4,26	10,71	10,79	1,26	1,24
3	323,39	316,73	316,72	0,167	1,62	1,64	3,84	10,13	10,25	1,26	1,24
4	316,19	315,23	315,22	0,17	1,73	1,76	3,91	10,80	10,97	1,24	1,23
5	321,67	320,8	320,78	0,176	1,61	1,75	4,05	10,07	10,94	1,26	1,25
6	323,36	322,5	322,49	0,185	1,85	1,77	4,26	11,54	11,05	1,26	1,26
Y/PP/6%						A	B	A	B		
1	360,51	319,68	319,68	0,208	1,58	1,62	4,78	9,87	10,11	1,41	1,25
2	357,84	321,97	321,97	0,264	1,69	1,64	6,07	10,56	10,24	1,40	1,26
3	335,81	318,89	318,89	0,268	1,60	1,62	6,16	9,98	10,10	1,31	1,25
4	326,77	319,63	319,63	0,234	1,70	1,54	5,38	10,64	9,65	1,28	1,25
5	320,42	318,07	318,06	0,241	1,64	1,68	5,54	10,23	10,50	1,25	1,24
6	314,68	313,88	313,84	0,226	1,59	1,47	5,20	9,93	9,21	1,23	1,23
REF						A	B	A	B		
1	317,32	316,42	316,42	0,17	1,25	1,15	3,91	7,83	7,21	1,24	1,24
2	316,16	315,29	315,29	0,164	1,86	1,99	3,77	11,62	12,41	1,24	1,23
3	321,13	320,24	320,24	0,17	2,01	1,86	3,91	12,56	11,61	1,25	1,25
4	318,83	317,95	317,95	0,153	2,00	1,87	3,52	12,48	11,66	1,25	1,24
5	317,38	316,52	316,52	0,16	1,81	1,84	3,68	11,29	11,48	1,24	1,24
6	317,7	316,88	316,8	0,179	1,82	1,90	4,12	11,38	11,84	1,24	1,24
MEDIA											
	PESO	PESO 24H 40°	PESO 48H 40°	10 KG f/s	FLEXIÓN (+f)	COMPRESIÓN (16Kg f/s)	RES. FLEXIÓN	RESISTENCIA COMPRESIÓN	DENSIDAD	D 24H 40°	D 48H 40°
Y/PP/1.5%	359,65	321,45	324,07	0,160	1,93	1,94	3,68	12,04	12,14	1,40	1,26
Y/PP/3%	325,92	318,99	318,98	0,174	1,69	1,72	4,00	10,56	10,72	1,27	1,25
Y/PP/6%	336,01	318,69	318,68	0,240	1,63	1,59	5,52	10,20	9,96	1,31	1,24
REF	318,09	317,22	317,20	0,166	1,79	1,60	3,82	11,19	10,00	1,24	1,24

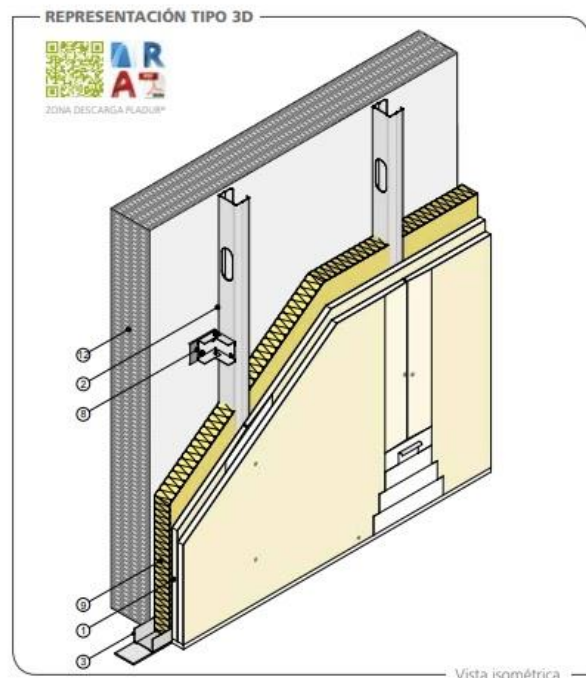
Peso según porcentajes para 1 probeta YT (4 x 4 x 16 cm)			
	Yeso (gr)	Fibras de PET (gr)	Agua (gr)
Control	1920	0	1056
1.5%	1891,2	28,8	1040,16
3%	1862,4	57,6	1024,32
6%	1804,8	115,2	992,64

RESTANDO PROBETAS DEFECTUOSAS 1.5 Y REF

MEDIA (Descartando 1 probeta 1.5 y 1 probeta de REF)											
	PESO	PESO 24H 40°	PESO 48H 40°	10 KG f/s	FLEXIÓN (+f)	COMPRESIÓN (16Kg f/s)	RES. FLEXIÓN	RESISTENCIA COMPRESIÓN	DENSIDAD	D 24H 40°	D 48H 40°
Y/PP/1.5%	323,276	320,92	320,92	0,160	1,93	1,94	3,79	12,04	12,14	1,26	1,25
Y/PP/3%	325,923	318,99	318,98	0,174	1,69	1,72	4,00	10,56	10,72	1,27	1,25
Y/PP/6%	336,005	318,69	318,68	0,240	1,63	1,59	5,52	10,20	9,96	1,31	1,24
REF	318,24	317,38	317,20	0,1652	1,90	1,89	3,80	11,88	11,83	1,24	1,24

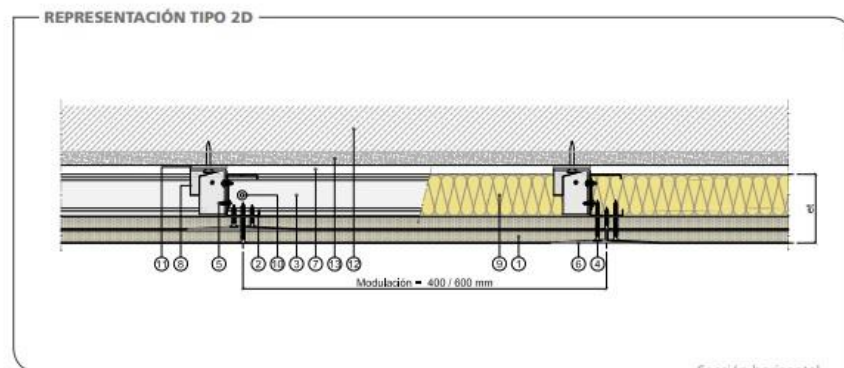
TRASDOSADOS - AUTOPORTANTE

TRASDOSADO AUTOPORTANTE PLADUR® CON MONTANTES



DEFINICIÓN DEL SISTEMA

Trasdosado autoportante formado por una estructura de perfiles de chapa de acero galvanizado a base de montantes Pladur® y canales Pladur® (elementos horizontales), a cuyo lado interno, dependiendo de la altura que se desea cubrir, será necesario arriostrar los montantes mediante escuadras que fijen el alma de los montantes y el muro soporte, dejando entre la estructura y el muro un espacio mínimo de 10 mm. En el lado externo de esta estructura se atornillan una o más placas Pladur®. Parte proporcional de materiales Pladur®: tornillería, pastas, cintas de juntas, juntas estancas/acústicas en su perímetro, etc., así como anclajes para canales en suelo y techo, etc. Totalmente terminado con Nivel de Calidad 1 (Q1) para acabados de alicatado, laminados, con rastreles, etc. También con Nivel 2 (Q2), Nivel 3 (Q3), Nivel 4 (Q4), según superficie de acabado (por definir en proyecto). Alma de la estructura Pladur® rellena en su totalidad con lana mineral. Montaje según recomendaciones Pladur®, norma UNE 102043 y requisitos del CTE.



- 1 Placa Pladur®
- 5 Tornillo Pladur® MM
- 8 Arriostramiento canal
- 11 Junta estanca Pladur®
- 2 Montante Pladur®
- 6 Tratamiento de juntas
- 9 Lana mineral
- 12 Soporte
- 3 Canal Pladur® Clip
- 7 Separación e ≥ 10 mm
- 10 Fijación a soporte
- 4 Tornillo Pladur® PM

CAMPO DE APLICACIÓN

Trasdosado de muros interiores y muros de fachada para incrementar su aislamiento térmico y acústico. Se emplea en todo tipo de obra, si bien está muy indicado en obra nueva, de reforma y rehabilitación.

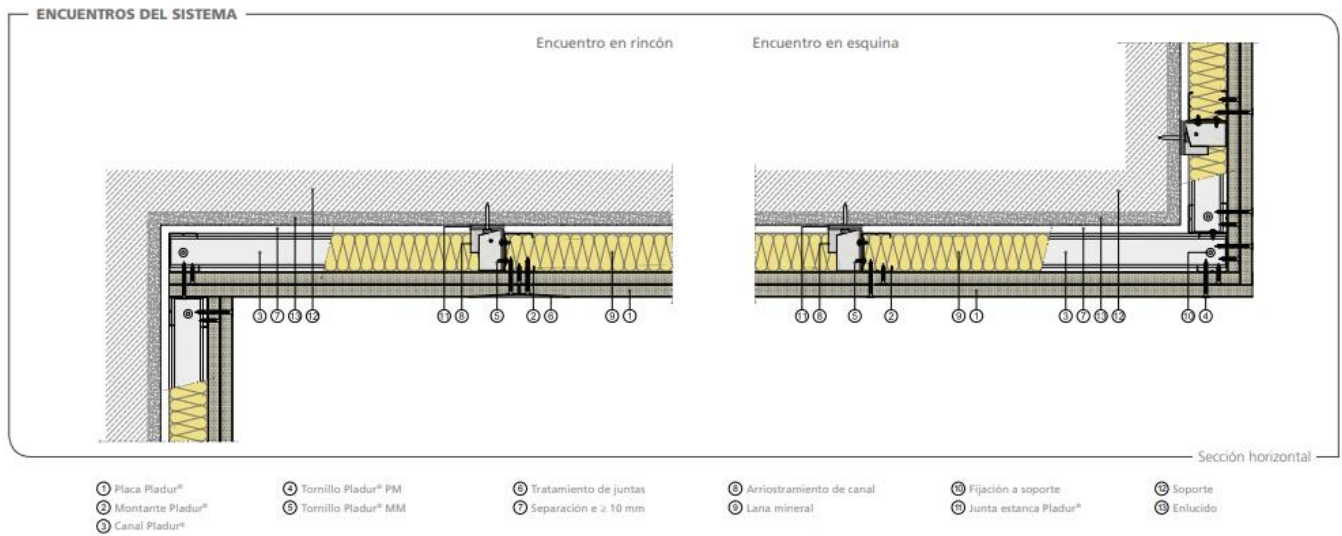
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

PERFIL	ESQUEMA	SISTEMA	PLACAS	MASA SUPERFICIAL (kg/m²)	DISTANCIA ENTRE ARRIOSTRAMIENTOS				MURO BASE MASASUPERFICIAL (kg/m²)	AISLAMIENTO ACÚSTICO (dB)				RESISTENCIA AL FUEGO							
					J		K			INCREMENTO TRASDOSADOS		MURO BASE + TRASDOSADO		Ref. ensayo	N	H	L	Ref. ensayo	P	D	Ref. ensayo
					600	400	600	400		ΔR _a	ΔR _{a,w}	R _a	R _{a,w}								
MONTANTE PLADUR® M-46		59 (46) MW	[46 x 1 x 13]	12	-	2,30	-	2,75	100	15	11	53	47	*10.05/200.138				Solo reforma	Solo reforma		
		61 (46) MW	[46 x 1 x 15]	16	2,10	2,30	2,50	2,75	100	17	15	55	51	*10.05/200.139				S/E	S/E		
		64 (46) MW	[46 x 1 x 18]	18	2,25	2,50	2,70	2,95	100	17	15	55	51	*10.05/200.140**				S/E	S/E		
		72 (46) MW	[46 x 2 x 13]	23	2,50	2,75	2,95	3,30	100	19	17	57	53	*10.05/200.147	Ei 30**	63632569		S/E	S/E		
		76 (46) MW	[46 x 2 x 15]	27	2,50	2,75	2,95	3,30	100	19	18	57	54	*10.05/200.148	Ei 30**	63632569	Ei 60**	32313128			
		91 (46) MW	[46 x 3 x 15]	38	2,80	3,10	3,35	3,70	100	21	20	59	56	*10.05/200.157	Ei 30**	63632569	Ei 90**	157222316			
MONTANTE PLADUR® M-70		85 (70) MW	[70 x 1 x 15]	17	2,70	2,95	3,20	3,55	100	18	17	56	53	*10.05/200.142				S/E	S/E		
		88 (70) MW	[70 x 1 x 18]	19	2,90	3,20	3,40	3,80	100	18	17	56	53	*10.05/200.143**				S/E	No aplica		
		96 (70) MW	[70 x 2 x 13]	24	3,20	3,55	3,80	4,20	100	19	19	57	55	*10.05/200.150	Ei 30**	63632569		S/E	S/E		
		100 (70) MW	[70 x 2 x 15]	28	3,20	3,55	3,80	4,20	100	20	19	58	55	*10.05/200.151	Ei 30**	63632569	Ei 60**	32313128			
		115 (70) MW	[70 x 3 x 15]	39	3,60	3,95	4,25	4,70	100	21	21	59	57	*10.05/200.160	Ei 30**	63632569	Ei 90**	157222316			
		130 (70) MW	[70 x 4 x 15]	51	3,60	3,95	4,25	4,70	100	22	22	60	58	*10.05/200.169	Ei 30**	63632569	Ei 120**	32310159			
MONTANTE PLADUR® M-90		116 (90) MW	[90 x 2 x 13]	25	3,90	4,30	4,60	5,10	100	20	19	58	55	*10.05/200.153	Ei 30**	63632569		S/E	S/E		
		120 (90) MW	[90 x 2 x 15]	29	3,90	4,30	4,60	5,10	100	20	20	58	56	*10.05/200.154	Ei 30**	63632569	Ei 60**	32313128			
		135 (90) MW	[90 x 3 x 15]	40	4,35	4,80	5,15	5,70	100	21	21	59	57	*10.05/200.163	Ei 30**	63632569	Ei 90**	157222316			

Consultar notas y consideraciones técnicas del sistema en página. 152

- N Placa Pladur® N
- H Placa Pladur® H1
- L Placa Pladur® L1
- P Placa Pladur® F
- D Placa Pladur® Omnia

TRASDOSADO AUTOPORTANTE PLADUR® CON MONTANTES

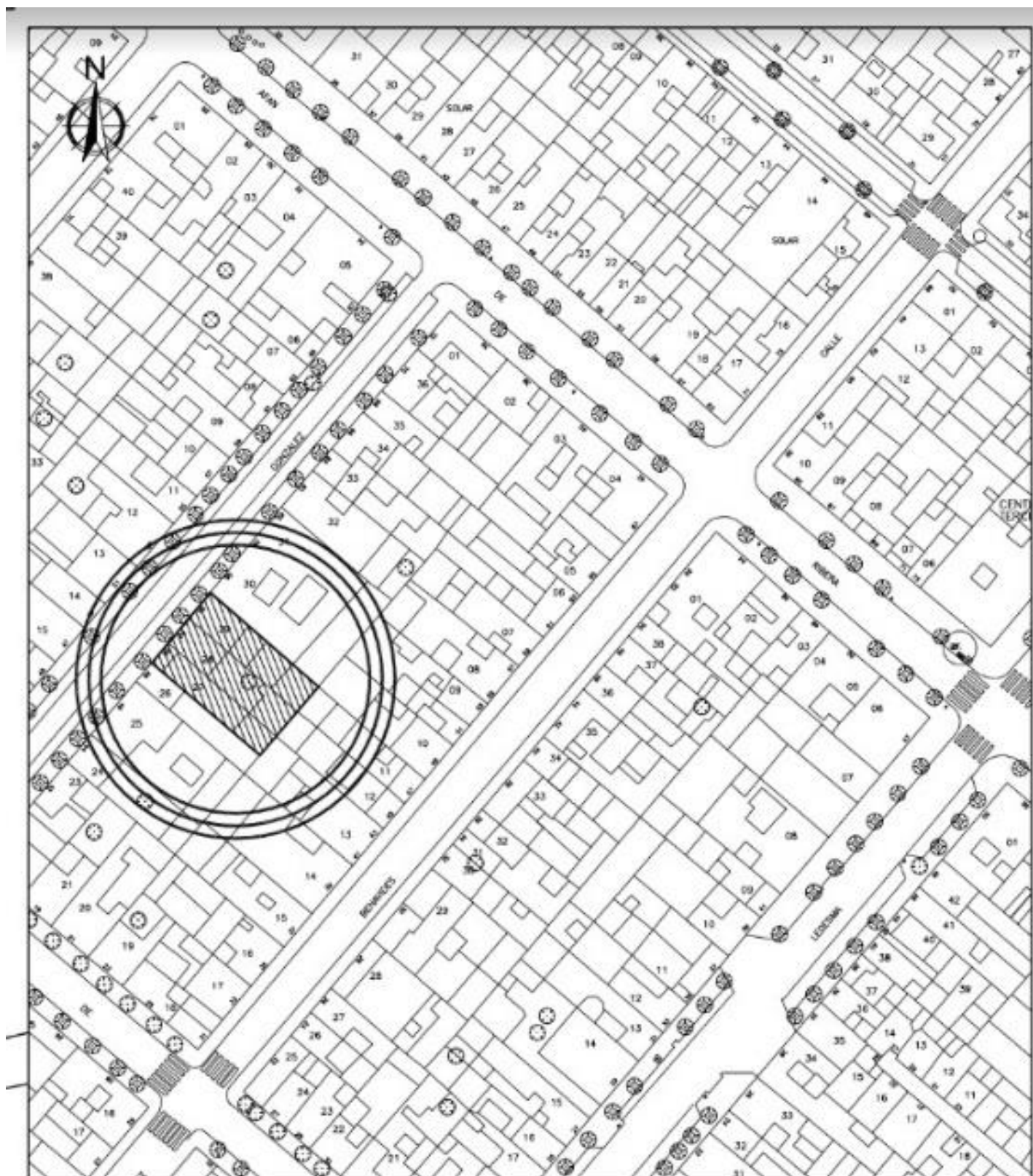


REPERCUSIÓN DE LOS SISTEMAS

PRODUCTOS PLADUR®	MONTANTE + 1 PLACA				MONTANTE + 2 PLACAS				MONTANTE + 3 PLACAS				MONTANTE + 4 PLACAS			
	C		IC		C		IC		C		IC		C		IC	
	600	400	600	400	600	400	600	400	600	400	600	400	600	400	600	400
PLACAS (m²)	1,05	1,05	1,05	1,05	2,10	2,10	2,10	2,10	3,15	3,15	3,15	3,15	4,20	4,20	4,20	4,20
MONTANTES (m)	2,33	3,50	4,66	7,00	2,33	3,50	4,66	7,00	2,33	3,50	4,66	7,00	2,33	3,50	4,66	7,00
CANALES (m)	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95
PASTA DE JUNTAS (kg)	0,36	0,36	0,36	0,36	0,72	0,72	0,72	0,72	1,08	1,08	1,08	1,08	1,44	1,44	1,44	1,44
TORNILLOS PM 1.ª CAPA (ud.)	15,00	21,00	15,00	21,00	8,00	11,00	8,00	11,00	8,00	11,00	8,00	11,00	8,00	11,00	8,00	11,00
TORNILLOS PM 2.ª CAPA (ud.)	-	-	-	-	15,00	21,00	15,00	21,00	8,00	11,00	8,00	11,00	8,00	11,00	8,00	11,00
TORNILLOS PM 3.ª CAPA (ud.)	-	-	-	-	-	-	-	-	15,00	21,00	15,00	21,00	8,00	11,00	8,00	11,00
TORNILLO PM 4.ª CAPA (ud.)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	15,00	21,00	15,00	21,00
TORNILLOS MM (ud.)	3,00	3,00	18,00	26,00	3,00	3,00	18,00	26,00	3,00	3,00	18,00	26,00	3,00	3,00	18,00	26,00
CINTA DE JUNTAS (m)	1,30	1,30	1,30	1,30	2,60	2,60	2,60	2,60	3,90	3,90	3,90	3,90	5,20	5,20	5,20	5,20
CINTA GUARDAVIVOS (m)	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
JUNTA ESTANCA (m)	1,72	1,72	1,72	1,72	1,72	1,72	1,72	1,72	1,72	1,72	1,72	1,72	1,72	1,72	1,72	1,72
LANA MINERAL (m²)	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05

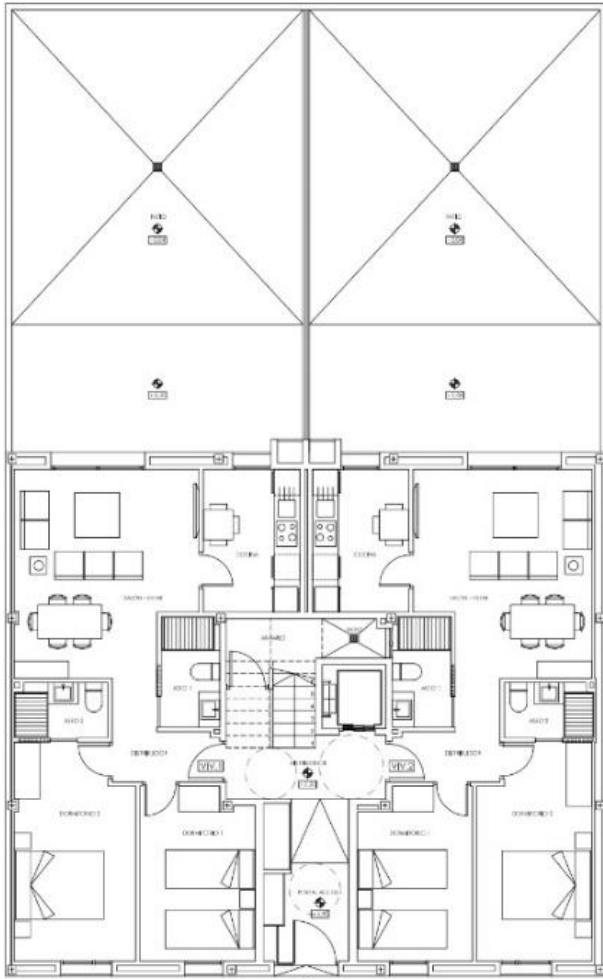
Nota: las cantidades de los productos se indican repercutidas por m². Cantidades estimadas de los productos considerando un coeficiente de pérdida de material del 5 % y sin tener en cuenta puntos singulares (puertas, ventanas, esquinas, arranques, etc.).

Especificaciones	
Modelo	N estandar
Código EAN	8435028300429
Marca	pladur
Ancho de producto	120 cm
Espesor de producto	15 mm
Longitud del producto	260 cm
Peso del producto	33.38
Bordes afinados	Sí
Cobertura	3.12
Material	Cartón y yeso laminado
Resistente al fuego	No
Resistente a la humedad	No
Vinílico	No

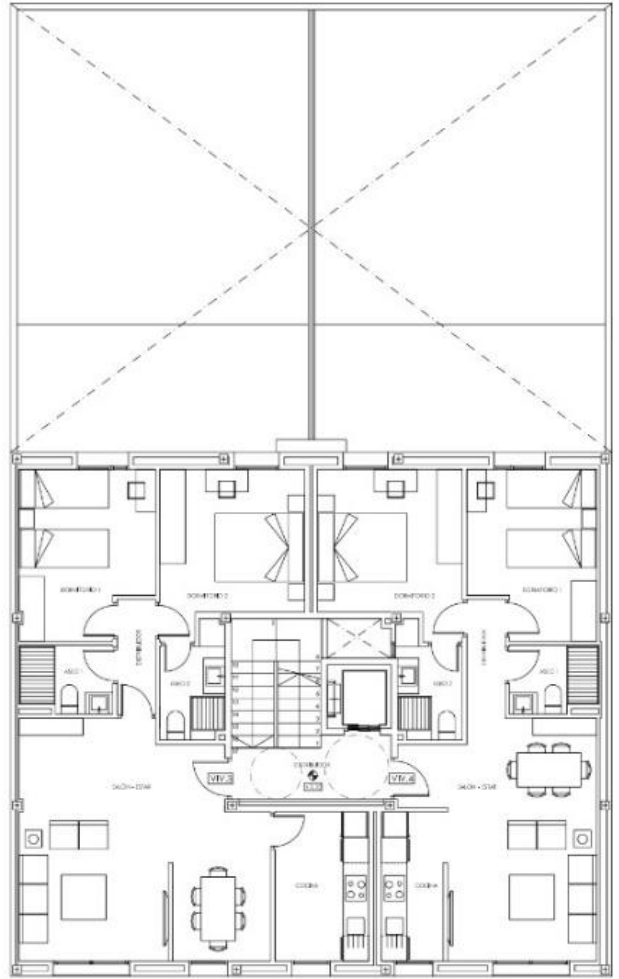


EMPLAZAMIENTO. escala 1/500

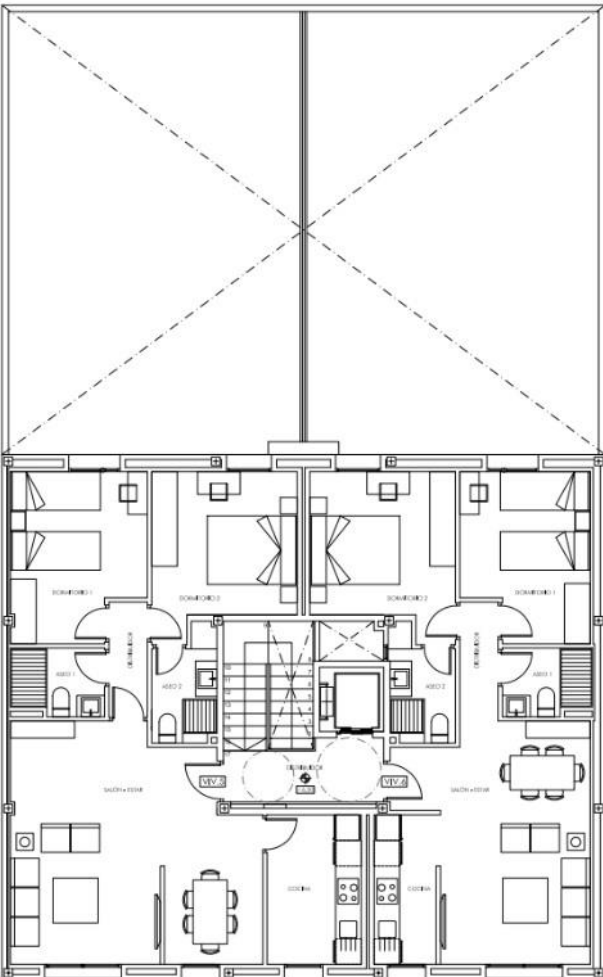
PROYECTO DE EJECUCIÓN DE EDIFICIO PLURIFAMILAR
DE SEIS VIVIENDAS EN CALLE ANÍBAL GONZÁLEZ, 50
50, 52, 54, SEVILLA



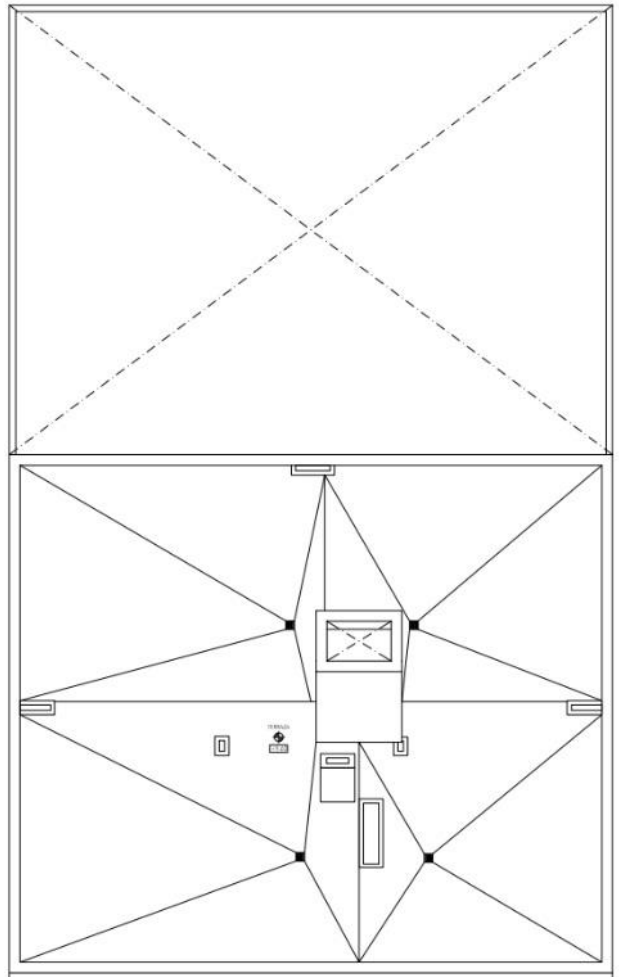
PLANTA BAJA
ESCALA 1/50



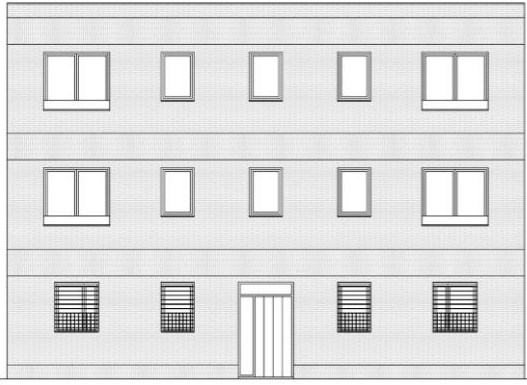
PLANTA PRIMERA
ESCALA 1/50



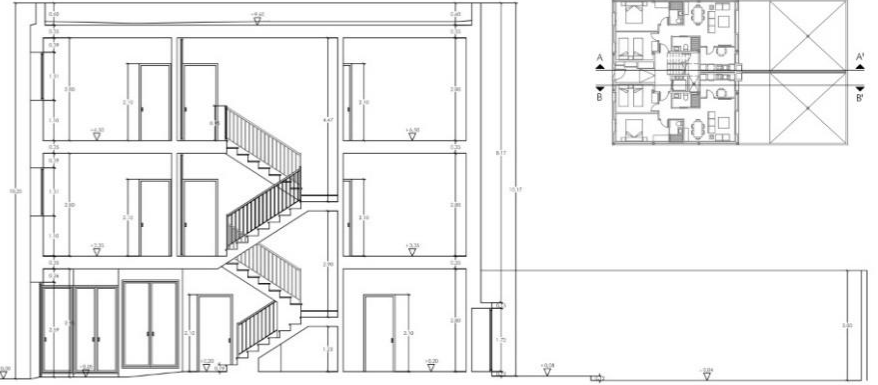
PLANTA SEGUNDA
ESCALA 1/50



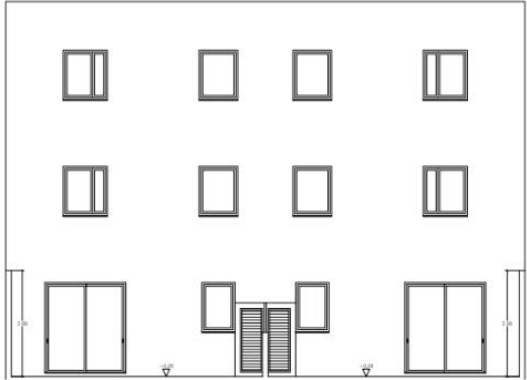
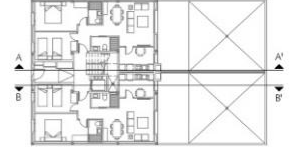
PLANTA CUBIERTA
ESCALA 1/50



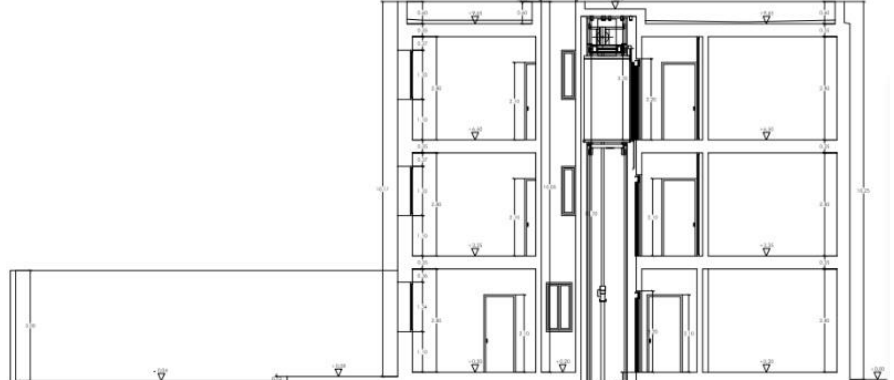
ALZADO PRINCIPAL
ESCALA 1/50



SECCIÓN A-A'
ESCALA 1/50



ALZADO POSTERIOR
ESCALA 1/50



SECCIÓN B-B'
ESCALA 1/50

PROYECTO DE EJECUCIÓN DE EDIFICIO PLURIFAMILIAR
DE SEIS VIVIENDAS EN CALLE ANIBAL GONZALEZ, 50
50, 52, 54, SEVILLA

MOYCO

ALZADOS Y SECCIONES A-A' Y B-B'



DECLARACIÓN AMBIENTAL DE PRODUCTO

DAP

Conforme con la norma NF EN 15804+A1 y la norma francesa XP P01-064/CN



PLADUR® N13

PLADUR® N15

► Fecha de realización: Julio 2015
Versión : 1.1



PLADUR® N13 & N15

Impactos ambientales	Etapa de producto	Etapa de construcción	Etapa de uso	Etapa de fin de vida	TOTAL CICLO DE VIDA
	A1 - A3	A4 - A5	B1 - B7	C1 - C4	
Calentamiento global kg CO ₂ eq/UF	3,57E+00	1,03E+00	0,00E+00	1,25E-01	4,72E+00
Agotamiento de la Capa de Ozono kg CFC 11 eq/UF	1,62E-07	6,29E-08	0,00E+00	8,74E-09	2,34E-07
Acidificación del suelo y el agua kg SO ₂ eq/UF	7,17E-03	5,16E-03	0,00E+00	6,07E-04	1,29E-02
Eutrofización kg (PO ₄) ⁻³ eq/UF	9,33E-04	7,35E-04	0,00E+00	1,21E-04	1,79E-03
Formación de ozono fotoquímico Etileno eq/UF	4,55E-04	2,12E-04	0,00E+00	1,89E-05	6,87E-04
Agotamiento de recursos abiótico (elementos) kg Sb eq/UF	4,79E-06	2,44E-06	0,00E+00	2,37E-07	7,46E-06
Agotamiento de recursos abiótico (fósiles) MJ/UF	2,58E+01	1,28E+01	0,00E+00	1,86E+00	4,05E+01
Contaminación del agua - m/UF	7,10E-01	2,70E-01	0,00E+00	3,23E-02	1,01E+00
Contaminación del aire - m/UF	5,43E+02	1,29E+02	0,00E+00	5,02E+01	7,22E+02

PLADUR® N13 & N15

Categorías de residuos	Etapa de producto	Etapa de construcción	Etapa de uso	Etapa de fin de vida	TOTAL CICLO DE VIDA
	A1 - A3	A4 - A5	B1 - B7	C1 - C4	
Residuos peligrosos vertidos - kg/UF	1,84E-01	2,61E-02	0,00E+00	1,06E-03	2,11E-01
Residuos no peligrosos vertidos - kg/UF	1,24E+00	1,76E+00	0,00E+00	1,05E+01	1,35E+01
Residuos radiactivos vertidos - kg/UF	8,32E-05	6,62E-05	0,00E+00	1,08E-05	1,60E-04

PLADUR® N13 & N15

Otros flujos de salida	Etapa de producto	Etapa de construcción	Etapa de uso	Etapa de fin de vida	TOTAL CICLO DE VIDA
	A1 - A3	A4 - A5	B1 - B7	C1 - C4	
Componentes para su Reutilización - kg/UF	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Materiales para el reciclaje - kg/UF	2,67E-02	1,33E-03	0,00E+00	0,00E+00	2,80E-02
Materiales para valorización energética - kg/UF	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Energía exportada Electricidad - MJ/UF	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Energía exportada Vapor - MJ/UF	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Energía exportada Gases de proceso - MJ/UF	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00