

**P**ROPUESTA DE **P**RODUCTO  
**E**CO-EFICIENTE COMO **P**ARTICIÓN  
INTERIOR A BASE DE  
**YESO Y PULPA DE PAPEL DE PERIÓDICO**

**BEGOÑA COLLIN LADRÓN DE GUEVARA**

**TUTOR: DIEGO FRUSTAGLIA**

**UNIVERSIDAD DE SEVILLA, GRADO EN FUNDAMENTOS DE LA  
ARQUITECTURA**

**TFG H - GRUPO 4**

Este documento es un trabajo individual, a excepción de la primera parte del mismo, que se ha realizado en grupo.

Es por esto que desde el Apartado 1: “Introducción”, hasta el Apartado 3: “Estado de la cuestión”, el documento es idéntico tanto en este caso como en el de mis compañeras Begoña Collín Ladrón de Guevara y Pilar Fernández-Aramburu Nordmann.

## INDICE

RESUMEN .....	4
ABSTACT .....	4
1. INTRODUCCIÓN .....	5
2. CONCEPTOS PREVIOS .....	7
3. ESTADO DE LA CUESTIÓN	
3.1. CON BASE DE YESO .....	10
3.2. PAPEL DE PERIÓDICO .....	14
4. ELECCIÓN JUSTIFICADA DEL MATERIAL PROPUESTO	
4.1. PROCESO DE OBTENCIÓN DE LA PULPA DE PAPEL DE PERIÓDICO .....	19
4.2. BALANCE AMBIENTAL .....	20
5. PLAN DE ENSAYOS PROPUESTO	
5.1. ENSAYO DE ABSORCIÓN ACÚSTICA: TUBO DE KUNT .....	21
5.2. ENSAYO MECÁNICO .....	22
6. ELABORACIÓN APROPIADA AL TIPO DE ENSAYO	
6.1. ENSAYO DE ABSORCIÓN ACÚSTICA: TUBO DE KUNDT .....	23.
6.2. ENSAYO MECÁNICO	
- ROTURA A FLEXIÓN .....	32
- ROTURA A COMPRESIÓN. CARA A .....	36
- ROTURA A COMPRESIÓN. CARA B .....	42
6.3. ANÁLISIS DEL PORCENTAJE DEL 5% .....	45
7. CONCLUSIONES DE LOS ENSAYOS .....	47
8. PROPUESTA DEL MATERIAL	
8.1. CASA COMERCIAL KNAUF .....	49
8.2. CASA COMERCIAL PLADUR .....	52
9. APLICACIÓN DEL PRODUCTO PROPUESTO A UN CASO PRÁCTICO .....	56
10. FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN .....	65
BIBLIOGRAFÍA .....	66

## APENDICES

---

A. TUBO DE KUNDT .....	68
B. FICHA TÉCNICA. CASA KNAUF.....	70
C. FICHA TÉCNICA. CASA PLADUR .....	71
D. BANCO DE PRECIOS DE PLADUR .....	72
E. PROYECTO 20 VIVIENDAS MÁS GARAJE (SEVILLA) .....	73
F. SECCIONES CONSTRUCTIVAS .....	75
G. MEDICIONES Y PRESUPUESTO DEL CASO PRÁCTICO .....	77

---

## RESUMEN

El presente trabajo trata del estudio de materiales eco-eficientes, aprovechando los residuos generados por el hombre, y su posible aplicación en el mundo de la construcción. Concretamente este estudio se centrará en el desarrollo de un nuevo material compuesto por un 5% de pulpa de papel de periódico y un 95% de yeso. Este se analizará mecánica y acústicamente, para ver el comportamiento que presenta, y comprobar su aplicación constructiva de forma justificada.

Se realizan los ensayos, tanto para comprobar la capacidad resistente del material, a flexión y a compresión, como para obtener la impedancia acústica de él, a través del tubo de Kundt, y justificar su aplicación como revestimiento interior en diferentes situaciones.

**Palabras claves:** *pulpa de papel de periódico, yeso, ensayos, eco-eficiencia.*

## ABSTARCT

This essay deals with the study of eco-efficient materials, which take the waste generated by men and its application in the world of construction. Specifically, this study focuses on the development of a new material. One that is composed in 5% out of newspaper pulp and 95% of gypsum. This will be analyzed both mechanically and acoustically to verify its constructive application.

Tests are carried out to check the material's resistance, flexion and compression. This, in order to not only obtain the correct acoustic impedance through the Kundt tube, but to also justify its application as an internal partition in different scenarios.

**Keywords:** *newspaper pulp, gypsum, tests, eco-efficient.*

## 1. INTRODUCCIÓN

Desde los años setenta se tiene constancia de los daños que se están causando a las reservas de recursos naturales, a las especies animales y vegetales y al planeta en general. Dado que, como hasta hace relativamente poco no había control del uso de los recursos no renovables o un plan de recuperación de los recursos renovables, no se hizo evidente su sobreutilización. Una de las principales estrategias para disminuir el uso de recursos del planeta e intentar reparar el daño ambiental hasta el momento es promover el reciclaje, de manera que se reduzcan los desperdicios utilizando los recursos eficientemente, se utilice todo lo que sea posible y se recicle todo lo que pueda seguir teniendo valor. Así multitud de residuos, como el vidrio, aluminio, el plástico u otros, se acopian y llevan a plantas de reciclaje, siendo el papel uno de los que mayor porcentaje de recuperación tiene (hasta un 40% del total del producido), pudiéndose reciclar más veces que cualquier otro residuo sin perder sus propiedades [1].

Siendo más concretos y centrándonos en lo que a este estudio concierne, una de las mayores fuentes de emisión de CO<sub>2</sub> (junto con el transporte), es la construcción, la cual entra dentro del campo de la industria. La mayor parte de la contaminación durante el proceso constructivo proviene del uso de materiales altamente perjudiciales para el medio ambiente, como el cemento. En algunos casos la contaminación aparece durante el proceso de fabricación, en otros durante la aplicación o sencillamente, produciendo residuos que eventualmente acabarán en vertederos o en el propio medio ambiente.

Una buena forma de reducir la cantidad de materiales contaminantes durante el proceso de construcción es, simplemente, reducir la cantidad que usamos de estos. Para suplementar el déficit de material, se puede optar por otros cuyo futuro sea terminar en vertederos. Estos sustitutivos serían desechos del día a día, de los que se producen en cualquier vivienda, por ejemplo. Se les daría así un nuevo uso y se reduciría considerablemente la cantidad de desechos destinados a tener un solo uso y ser acumulados hasta degradarse (lo cual puede llevar siglos en determinados materiales).

Para construir un futuro más sostenible es nuestra obligación, como habitantes de este planeta y predecesores de las generaciones venideras, reinventar la forma en la que hacemos las cosas y ser consecuentes con la forma en la que las hemos estado haciendo durante siglos. Solo así se podrá remediar la gran crisis medio-ambiental a la que nos estamos enfrentando.

Citando a Carl Sagan:

*“[...] Eso (La Tierra) es nuestro hogar. Eso somos nosotros, Ahí ha vivido todo aquel de quien hayas oído hablar alguna vez, todos los seres humanos que han existido. La suma de todas las alegrías y sufrimientos, miles de religiones seguras de sí mismas, ideologías y doctrinas económicas, cada cazador y recolector, cada héroe y cada cobarde, cada creador y destructor de civilizaciones, cada rey y cada campesino, cada joven pareja enamorada, cada niño esperanzado, cada madre y cada padre, cada inventor y explorador, cada maestro moral, cada político corrupto, cada superestrella, cada líder supremo, cada sano santo y cada pecador en la historia de nuestra especie vivió ahí; en una mota de polvo suspendida en un rayo de sol.” [2]*

Por ello, nuevos materiales se abren paso día a día en el mundo de la construcción, tratándose de materiales derivados de años de investigación en laboratorios I+D+I, formando parte de la construcción sostenible, la cual es de obligado cumplimiento y teniendo como objetivos la búsqueda de materiales con mayor incidencia a las inclemencias del tiempo, menos coste de la puesta en obra y un mayor respeto al medio ambiente.

Existen muchas ramas de aprovechamiento de los residuos en la construcción, siendo el papel de periódico una de las primeras, junto a diferentes tipos de plástico o madera, por sus características, tanto por la conductividad térmica que presenta (5 KWh/m<sup>3</sup>), mucho más baja que materiales ya comercializados como la lana de roca (180 KWh/m<sup>3</sup>), como por el coeficiente de absorción acústica que tiene, estando este muy por encima de materiales de aislamiento tradicional.

De este modo, el presente estudio trata del diseño de materiales eco-eficientes para la construcción con aprovechamiento de residuos y el posterior estudio de sus propiedades mecánicas y acústicas. Para ello añadiremos como material aditivo **pulpa de papel**, en diferentes porcentajes, a partir de papel de periódico, junto con la matriz de un material conglomerante: **yeso**. Y veremos la aplicación que el nuevo material presenta, siendo comparado con materiales ya comercializados y con diferentes proyectos ejecutados, para ver la mejor aplicación que podría tener en algún elemento constructivo de un edificio.

Se realizan ensayos mecánicos para comprobar la capacidad resistente del material, a flexión y a compresión, y a través del ensayo del tubo de Kundt, se obtendrá la impedancia acústica, obteniendo así, el comportamiento del material.

**Palabras claves:** *yeso, papel de periódico, conglomerante, sostenibilidad, eco-eficiencia, impacto ambiental.*

## 2. CONCEPTOS PREVIOS

· **Conglomerante:** producto capaz de unir fragmentos y dar cohesión al conjunto por efectos de transformaciones químicas en una masa que originan nuevos compuestos.

· **Sostenibilidad:** la sostenibilidad es un proceso socio-ecológico caracterizado por un comportamiento en busca de un ideal común. Entendiéndose como arquitectura sostenible aquella que se realiza de modo que no dañe al medio ambiente, de la forma más ecológica posible, aprovechando los recursos naturales y minimizando el impacto sobre ellos.

· **Yeso:** producto muy utilizado históricamente como conglomerante, junto con la cal y la tierra. Se trata de un producto elaborado a partir de un mineral natural, denominado también yeso o aljez, que una vez amasado con agua puede ser utilizado directamente. En la construcción, sus usos más comunes son el de prefabricación de paneles para tabiquería y escayolas para techo o como aislante térmico, debido a que el yeso es un mal conductor térmico.

Tabla 2. Valores tabulados de la conductividad térmica para yesos de construcción y conglomerantes a base de yeso para la construcción. [3]

Densidad kg/m <sup>3</sup>	Conductividad térmica a 23 °C y 50% de humedad relativa W/(m·K)
600	0,18
700	0,22
800	0,26
900	0,30
1 000	0,34
1 100	0,39
1 200	0,43
1 300	0,47
1 400	0,51
1 500	0,56

· **Impacto ambiental:** efecto que produce la actividad humana sobre el medio ambiente. Las acciones de las personas sobre el medio ambiente siempre provocarán efectos colaterales sobre éste. La preocupación por los impactos ambientales abarca varios tipos de acciones, como la emisión de gases nocivos, o la pérdida de superficie de hábitats naturales, entre otros.

· **Residuo:** cualquier material generado por la actividad humana y que esté destinado a su desecho, es decir, las sustancias u objetos pertenecientes a alguna de las categorías que presenta el Anejo de la Ley 10/1998 de Residuos [4], donde se describe la obligación del poseedor del residuo a desprenderse de él, existiendo varias categorías según su uso.

Nos centramos en la categoría de Residuo Sólido Urbano, perteneciendo a esta categoría aquellos residuos procedentes del uso en los domicilios particulares, comercios, oficinas y servicio, así como los procedentes de la limpieza de vías públicas, verdes, áreas recreativas y playas.

En España se aproxima, según el Informe de Ecoembes de 2016, la recogida de 1.3 toneladas de envases reciclados (4% más que en el año 2015), de los cuales 478.30 Kg de residuos pertenecen a una persona por día. [5]

De todos los residuos gestionados por Ecoembes, se reciclan hasta un 76% de los cuales el 66.5% pertenecen al plástico, el 82.30% al papel y al cartón y el 84.8% a metales.

Del gran porcentaje que ocupa el reciclado de papel y cartón, existen cinco tipos de este según su uso:

- Papel de prensa (38%)
- Papel de impresión y escritura (46%)
- Papel higiénico (7.9%)
- Papel especial, sellos (7.3%)



[FIGURA 1] COMPOSICIÓN DE LAS TONELADAS DE ENVASES RECICLADOS POR TIPO DE MATERIAL (fuente: [www.ecoembes.com](http://www.ecoembes.com))



Esto genera un beneficio ambiental muy considerable para el planeta, reduciendo la emisión de CO<sub>2</sub> emitida a la atmosfera un millón de toneladas, una disminución de 7 millones de MWH de gasto de energía y un descenso de 20.1 millones de m<sup>3</sup> de consumo de agua.

Para continuar con la reducción del impacto ambiental, por una parte con el aprovechamiento de residuos existentes y por otra en la reducción de materiales tradicionales de la construcción, encontramos ejemplos que estudian la combinación tanto de yeso como de pulpa de papel con otros materiales y vemos los resultados que obtienen.

### BENEFICIOS AMBIENTALES

El reciclaje permite reducir el impacto de los residuos de envases en el entorno natural y ayuda a mantener el aire limpio. En 2016, el reciclado de envases gestionado por Ecoembes logró:



[FIGURA 2] BENEFICIOS AMBIENTALES (fuente: [www.ecoembes.com](http://www.ecoembes.com))

### RESULTADOS DE RECICLAJE 2016

Los ciudadanos españoles están cada vez más concienciados con el medio ambiente, superándose cada año las cifras de reciclado de envases. En concreto, en 2016 **reciclaron un 4% más de envases** que en el año anterior.



[FIGURA 3] RESULTADOS DE RECICLAJE EN 2016 (fuente: [www.ecoembes.com](http://www.ecoembes.com))

### 3. ESTADO DE LA CUESTIÓN

#### 3.1. CON BASE DE YESO

· El estudio de Francisco González Madariaga y Joaquim Lloveras Macías [6], en México, analiza el **comportamiento de la mezcla de residuos de poliestireno expandido (EPS) con conglomerante tipo yeso o escayola**, donde la proporción usada es de 100% yeso + 120% agua y una serie de dosificaciones, entre 1.6%-3%, de EPS.

Los resultados obtenidos en este ensayo son muy favorables, obteniendo:

- Resistencia a compresión mayor (hasta un 66%) que en los ensayos realizados sobre los materiales vírgenes.
- Mayor tendencia a absorber agua (20-27%) comparados con los resultados del material virgen de EPS (2%).
- Mayor ligereza, consiguiendo disminuir casi la mitad el peso de una placa, pasando de 5.5 Kg/m<sup>2</sup> a 10 Kg/m<sup>2</sup>.

De estos ensayos, se confirma que el nuevo material (EPS + yeso) son potencialmente útiles para la fabricación de placas laminadas más ligeras que las estándar. Sin embargo, sus aplicaciones se deberán limitar a recubrimiento de muros.

· Otro estudio es el realizado por Sofía Alcón Calla, Franolit Salcedo Quispe, Verónica Gallardo Tapia y Jorge Echazú Cortez, de Bolivia [7], en el cual se estudia un **mortero a partir de yeso, arena y fibra reciclada de botellas PET** (Tereftalato de Polietileno) para su aplicación como junta en mampostería de ladrillo.

Tras aplicar las pruebas permitentes, una de las conclusiones del estudio (y obvia desde antes de los ensayos) es que el aumento del contenido de arena disminuye la resistencia a compresión del mortero. En cuanto a la adición de PET, provocaba un aumento en la resistencia a compresión, pero solo en uno de los dos tipos de yeso usados en el estudio (yeso “coboce”).

Se creó una proporción óptima entre el yeso, la arena y la fibra (1:0.15:3, respectivamente) la cuál alcanzaba una resistencia de 8.19 MPa, similar a la de un mortero de cemento de proporción 1:5.4 (7.91 MPa).

El uso recomendado es el de junta de mampostería para ladrillos de tabiques interiores, ya que la diferencia de coste respecto a la utilización de mortero de cemento era notable, además de garantizar la funcionalidad de esos

elementos. Aparte, permite reciclar un material de desecho que de otra manera acabaría contribuyendo a la contaminación ambiental.

---

· En la Universidad politécnica de Madrid, Alfonso García Santos, Francisco Javier Neila-González y Alicia Oliver (investigadores del departamento de Construcción y Tecnología Arquitectónica de la ETS de Arquitectura de la UPM) [11], llevaron a cabo una investigación sobre un material a base de yeso que supuso un gran avance en su campo.

Este producto consiste en una **mezcla de yeso y material de cambio de fase o PCM** (*Phase Change Material*). Estos son materiales con un alto calor latente que, a la temperatura de cambio de fase (sólido  $\leftrightarrow$  líquido), son capaces de almacenar o liberar grandes cantidades de energía (hasta 100 más que si se emplea el calor sensible). El interés que tienen los PCM es que, durante el cambio de fase, la temperatura permanece constante mientras que el material absorbe o libera la energía.

En el caso particular de este estudio, se ha conseguido sustituir el 45% del peso de una placa de yeso, de un metro cuadrado y 1.5 centímetros de espesor, por un PCM. Así, una placa de estas dimensiones alberga 4.75 kg de material aditivo (hasta entonces lo máximo logrado eran 3 kg). Esta placa sigue manteniendo las propiedades físicas y mecánicas exigidas por la normativa de aplicación para yesos de construcción [12].

El PCM utilizado en este caso es una mezcla de fibras de polipropileno y una dispersión de melanina formaldehído. Esta mezcla, junto con el yeso de construcción, hace que una placa de 1.5 cm de espesor sea capaz de almacenar 5 veces más cantidad de energía térmica que una placa de cartón-yeso del mismo espesor y la misma cantidad que una fábrica de ½ pie de ladrillo hueco, en el rango de temperaturas próximas a la de confort (20-30 °C).

---

· En 2005, en Huelva, se llevo a cabo un workshop sobre las **nuevas aplicaciones del colcho en el mundo de la construcción**, bajo el título III encuentro Eurocork, donde se expuso los estudios de la técnico Mercedes del Río, la cual ha investigado sobre los efectos que causa un nuevo material compuesto por corcho y conglomerante tipo yeso. [13]

En la unión de estos materiales, como era de esperar, la hidratación del yeso da lugar a una microestructura de comportamiento macroscópico expansivo. Las celdas del corcho absorben perfectamente esta expansividad, proporcionando un producto final cohesionado en el que se observa que los cristales aciculares del yeso consiguen penetrar los poros y aperturas del

corcho. Por otra parte, al cerrar los poros se anula una de las características fundamentales del corcho, su absorción acústica.

En este estudio, se ha llegado a conclusiones sorprendentes, debido a que con la mezcla de estos materiales se han obtenido mejoras con respecto a materiales similares comercializados en la actualidad, bajo el nombre de *Pladur*.

-Disminución considerable del peso/m<sup>2</sup> del panel, lo cual supone un mayor rendimiento en la puesta en obra y un menor número de roturas en el transporte y en la manipulación del panel.

-Mejora de la capacidad de deformación del sistema, consiguiendo que la deformación no se concentre solo en las juntas.

-Mejora del aislamiento acústico, debido al aprovechamiento de la alta absorción acústica del material que lo constituyen.

---

· En el volumen 45 de Informes de la Construcción, se estudió el **comportamiento mecánico a flexión del cartón-yeso**, un material muy comercializado en la actualidad. [14]

Para este estudio se han utilizado placas con diferentes grosores en el núcleo central, siendo estas de 9.50, 12.50 y 15 mm, y cortando las placas con anchuras de 200, 300 y 400 mm, para obtener el comportamiento con diferentes separaciones entre los apoyos (250, 350 y 450 mm respectivamente).

La principal conclusión obtenida en el ensayo es la validez para placas de las dimensiones indicadas, comprobando que para espesores mayores, se obtiene una resistencia a rotura inferior, continuando con lo establecido en las normas europeas ASTM, las cuales definen este proceso como lineal y aceptan que para espesores superiores a 15 mm el yeso no alcanza la rigidez óptima.

---

· En el estudio realizado en Madrid por Nelson Flores, Mar Barbero y Rosa Bustamante, donde se **redujo la cantidad de yeso y se añadió polvo de grafito en diferentes proporciones** (5, 10, 15, 20 y 25%) y se analizó las propiedades físicas y mecánicas. [17]

En el estudio se realizaron probetas con dimensiones de 40x40x160 cm con una relación de agua de 0.6, obteniendo como resultados el aumento de la resistencia mecánicas en las pastas de yeso hasta un 275%, reduce la porosidad y el coeficiente de absorción por inmersión en agua, aumentando así la vida útil del nuevo material.

En particular se puede decir que la mezcla que contiene polvo de grafito en un 15% tiene las mejores características mecánicas de todas las realizadas.

El ensayo concluye de manera positiva en cuanto a la posible aplicación del nuevo material como relleno, principalmente en paneles de yeso prefabricado y en albañilería seco, para poder mejorar la resistencia del núcleo y contribuir en la revalorización de este residuo industrial.

---

· En la tesis realizada por Sara Gutiérrez González en la Universidad de Burgos, se analizan los resultados obtenidos en la investigación de nuevos **materiales aligerados a base yeso con espuma de poliuretano y polvo de poliamida**. [18]

Se han obtenido resultado favorable para llevar a cabo la aplicación como conglomerante en construcción la mezcla del nuevo material a base de yeso con polímeros.

Como principal conclusión se obtiene que, aunque numéricamente la adherencia disminuye en función a la cantidad de polímero utilizado, el tipo de rotura es adecuado y siempre se produce por cohesión. Por otra parte, la conductividad térmica se reduce hasta un 66% frente a las del yeso de referencia y se utiliza una cantidad de agua mucho menor a la utilizada en el material de partida (yeso solo).

---

· En el estudio de Mònica Ardanuy, Josep Claramunt y Romildo Dias Toledo Filho [19] se hace alusión al **desarrollo de la viabilidad comercial de los materiales sostenibles basados en recursos naturales**, que ha estado creciendo durante los últimos años. En este caso en concreto se hace un estudio tanto del comportamiento mecánico, así como de la durabilidad del uso de fibras de celulosa como refuerzo de composites basados en cemento.

Las fibras que más se estudiaron fueron las de madera blanda y las de sisal (agave sisalana). Además se estudiaron otras fibras, aunque en menor grado, tales como las de eucalipto, algodón, lino y cáñamo.

Una de las conclusiones a las que se llegó es la necesidad de una buena dispersión de las fibras dentro de la matriz conglomerante para obtener unas propiedades mecánicas adecuadas. Este hecho condiciona en gran medida el proceso de manufacturación. Es por ello que se proponen otros métodos de fabricación como por ejemplo la extrusión de la mezcla de cemento y pulpa o la creación de estructuras planas (hojas) a base de fibras para colocarlas posteriormente en el conglomerante.

También se llegó a la conclusión de que para aumentar la durabilidad del material se podía optar por un curado de este en una atmósfera de CO<sub>2</sub> o mediante adiciones puzolánicas (roca de origen volcánico).

### 3.2. PAPEL DE PERIÓDICO

· En una publicación de *Recent Trends for Engineering and Technology*, Yogesh Shermale y Mahavir Balmukund [8] hablan de diferentes estudios sobre el “**Papercrete**” (paper + concrete), material a base de cemento Portland blanco y pulpa de papel que fue descubierto por Eric Patterson y Mike McCain de manera independiente. El objetivo de esta mezcla es simple: reducir la cantidad de cemento usado durante la construcción, creando así edificios *eco-friendly*. Las fibras a partir de papel de cualquier tipo (periódico, cartón, revistas...) aportan resistencia al material resultante, dando lugar a un producto que es a la vez ligero y resistente.

Las conclusiones de los distintos estudios fueron alentadoras: la resistencia a compresión del Papercrete, según el estudio de Kelly Hart, alcanzaba los 1.7 MPa. Existen otros estudios, como el de Menealos Kokkinos (Holanda), en el que este valor alcanzaba los 2.36 MPa.

En cuanto a su densidad, se observó que a mayor cantidad de papel, menor densidad tenía el resultado. Aumentando la cantidad de papel de un 5% (1.88 g/cm<sup>2</sup>) a un 10% y 15%, su densidad y, por lo tanto, su peso, disminuían un 15% y un 22% respectivamente.

Por último, Barry Fuller analizó la conductividad térmica del Papercrete, observando que esta era de 0.10 W/(m·K) respecto a los 1.25-1.75 W/(m·K) del hormigón sin adulterar, lo cual lo convierte en un material con un grado mayor de aislamiento acústico.

Una de las conclusiones que se sacan a raíz de los diferentes estudios es la falta de unas guías estandarizadas para la fabricación de este material. Aún así se ha observado que es un compuesto con una absorción de agua adecuada, es más ligero que el hormigón o que la madera en relación con su peso, tiene menos tendencia a contraerse y es respetuoso con el medio ambiente.

Uno de los usos que se proponen para el Papercrete es el de la reducción de los pesos muertos en los elementos estructurales, en los casos en los que no existan cargas especiales actuando sobre estos.

Aun así, es un material que sigue requiriendo mucha investigación que consiga convertirlo en una solución viable para la construcción en los próximos años.

· En un estudio de la Universidad Católica de Pereira, en Colombia, Johanna Martínez Santa [9] habla sobre un **material a partir de madera y celulosa de papel**. El material aditivo utilizado en este producto proviene del papel de prensa, papel de oficinas, cartones, etc.

Su uso está destinado a participar del proceso constructivo y estructural dentro de un proyecto mayor de viviendas moduladas y poner remedio también al problema de los residuos producidos por la industria.

Entre las propiedades que se destacan de la celulosa de papel están:

- Buen aislamiento térmico.
- Compensas las fluctuaciones de humedades menores.
- Es altamente hidrófilo (debe protegerse).
- Es dimensionalmente estable.
- Los ácidos y álcalis atacan sus fibras.

En este estudio en concreto, la celulosa de papel se utiliza en forma de panel, acompañado de distintas capas por ambas caras. Entre los materiales de las demás capas está la madera y estuco.

Se conforman distintas configuraciones de paneles, dependiendo del uso de la estancia en la que se encuentren dentro de la vivienda modular (cocina, baño, etc.).

---

· Otro ejemplo es el estudio de un producto publicado en la revista DYNA, obra de Hernán Cañola, César Echevarría y Julio César Sánchez (Universidad Nacional de Colombia). [10]

Dicho producto es el **“Recipanel” o paneles de papel reciclado**. En este estudio se estudian la fabricación y el comportamiento mecánico de los paneles de papel. El proyecto consiste en la fabricación de un prototipo de elemento no estructural a partir de residuos sólidos (papel de periódico), fibras de polipropileno y material conglomerante (cemento blanco Portland). Los usos pensados para este panel en la construcción son el de tabique y el de falso techo.

Antes de comenzar el estudio, fueron evaluados varios tipos de materiales reciclados, tales como papel, papel de periódico o cartón. También se consideraron distintos conglomerantes, como limo, yeso, estuco plástico y el cemento Portland.

En el caso de los limos, se observó que no proporcionaban una cohesión adecuada a la mezcla. El yeso y el estuco provocaban desapego y desintegración en los bordes de las probetas. Por el contrario, el cemento

blanco Portland demostró brindar a los paneles de una fuerza de cohesión adecuada. La combinación del cemento con papel de periódico ya había sido evaluada previamente en otros estudios como la mejor opción en términos de estabilidad dimensional y propiedades mecánicas.

Tras llevar a cabo todas las pruebas pertinentes sobre el prototipo de Recipanel (propiedades mecánicas, conductividad térmica, etc.), las conclusiones a las que se llegaban era que este producto era una opción ideal para los elementos no estructurales en la construcción. El test de rotura, por ejemplo, resultó en una alta resistencia por parte de los paneles. Se concluyó que incluso podrían usarse conectores metálicos como clavos, sin romper los prototipos. Respecto a los ensayos térmicos, se observó que el Recipanel tiene una conductividad térmica baja ( $1.08 \text{ W/(K}\cdot\text{m)}$ ), lo cual haría ideal su uso en estancias con cambios drásticos de temperatura.

· También resulta de interés el estudio de Sonia Prieto Jiménez [11], de la Universidad de Cuenca (Ecuador). En este se estudia un tipo de **panel prefabricado de hormigón liviano a base de papel de periódico y cartón reciclado**, destinado a viviendas de interés social.

Para estos paneles, además del hormigón y el papel, se utiliza un aditivo plastificante que dota a la mezcla final de las siguientes características:

- Funciona como un acelerante para el hormigón.
- Brinda al hormigón de resistencia inicial y final.
- Aumenta la trabajabilidad de la mezcla.
- Permite un rápido desencofrado.
- Mejora sustancialmente el acabado de los prefabricados.

Tras hacer pruebas con distintas dosificaciones de materiales, se llega a una proporción óptima (1:2:0.05:0.05) de cemento, arena, cartón y papel, respectivamente. También contiene un 2% del material plastificante (Plastocrete). Esta dosificación, tras 28 días de fraguado, proporciona una resistencia de  $121.9 \text{ kg/cm}^2$ , poco más de la mitad del valor de la resistencia del hormigón sin aditivos.

Se encontraron dosificaciones que brindaban de una mayor resistencia al producto final, pero su espesura hacía imposible su utilización en forma de panel (relación agua-cemento de 0.7, a diferencia del 0.9 de la mezcla elegida finalmente). Este tipo de mezclas espesas podrían destinarse a la fabricación de bloques para la construcción.



· En el estudio de Luis Alberto Vargas, donde se ve el **comportamiento que tiene el papel de periódico junto con cal hidratada y alumbre**, se comprueba la factibilidad técnica de formar un material compuesto, basado en las normas europeas ASTM. [15]

Se realizaron dos muestras diferentes con distintas proporciones de la cantidad de materiales empleados. La primera muestra se basó en una relación cal-papel inferior a 0.5, observando que se obtuvo una pasta moldeable y suave, con buena incorporación del papel. Si se reducía la cantidad de agua empleada se obtenía una pasta más dura, adherente y moldeable. Por otra parte, La segunda muestra, donde la relación cal-papel varía entre 0.1 y 0.5, se observó una pasta moldeable y no adherente, pero en el resto de mezclas, donde la cantidad de yeso era inferior a la necesaria para formar una estructura y obteniendo un material insostenible, sin adherencia.

Consiguiendo finalmente la conclusión, ya comentada anteriormente por *Matthews et al* (2000), donde se describe lo siguiente:

*“El mínimo de la fracción de volumen de la matriz a utilizar en el material compuesto, dependerá de la naturaleza de ésta, pues de ser inferior a la cantidad requerida para formar una estructura con el refuerzo, la consolidación del material se vuelve insostenible. Del mismo modo la uniformidad y distribución del refuerzo, estuvo condicionada por el tamaño de partícula que debía utilizarse para formar una mezcla homogénea.”*

· Un grupo de técnicos, desde Colombia estudian el **comportamiento del papel de periódico con almidón de yuca** (Polvo fino que se obtiene a través de la molienda de la yuca, tubérculo originario de Sudamérica). [16]

Se utiliza una proporción 1:4.3 para la mezcla de papel de periódico con el engrudo, para la elaboración de muretes. Obteniendo una serie de conclusiones como:

-Disminución en la densidad de muretes con el nuevo material (hasta un 15% menos de la densidad de un murete tradicional).

-Mediante los ensayos de laboratorio se evidenciaron características dúctiles de los muretes con el nuevo material ante cargas cortantes, lo que los hace atractivo al nivel de desempeño sísmico.

-La principal desventaja de este material se hace evidente frente a la intemperie y al fuego, debido a que el material utilizado se puede ver afectado por la exposición directa a estas dos situaciones.

· Otro ejemplo es el estudio llevado a cabo por Julián Eduardo Mejía Ballesteros, Sergio Franciso Santos, Gonzalo Mármol, Holmer Savastano JR. Y Juliano Fiorelli [20]. En este se estudia el **efecto del proceso de hornificación en fibras celulósicas** provenientes del pino blanqueado y del eucalipto, con el objetivo de incrementar la durabilidad y la estabilidad volumétrica, a modo de refuerzo para matrices cementosas.

El resultado obtenido en este estudio es que, a la vista del índice de cristalinidad y las características de viscosidad, el proceso de hornificación no supone ningún cambio significativo en las fibras estudiadas. El único efecto de este proceso es una disminución en los valores de retención de agua de las pulpas, siendo más significativa en el eucalipto (24%) que en el pino (10%). Este resultado indica una pérdida de la capacidad de hinchazón de las fibras y así, una mayor estabilidad dimensional además de una adhesión fibra-matriz mejorada.

· Por último, tenemos el estudio de Anna Czaderna, Aleksandra Kocemba, Marcin Kozanecki, Maria Mucha y Patrycja Mróz [21], en el cual se habla de la **influencia de los derivados de celulosa en la estructura del agua del yeso**.

Se estudia la influencia tres derivados de celulosa (hydroxyethyl methylcelulosa (HECM), hydroxypropyl methylcelulosa (HPMC) y hydroxypropyl celulosa (HPC)) en el proceso de configuración del yeso y los respectivos cambios en su estructura de agua.

En comparación con el yeso puro, el proceso de configuración en presencia de derivados de celulosa es más lento, ya que los polímeros hidrofílicos atrapan parte de las moléculas de agua.

Los resultados obtenidos mediante la espectroscopía de infrarrojos muestran modificaciones significantes en la morfología del producto en presencia de los polímeros. Se observó que las diferencias de la estructura de agua entre la superficie y las muestras de rotura del yeso, dependían de la cantidad inicial de agua que se añadía a la pasta. Si el contenido de agua era suficientemente alto, el agua permanecía excesiva, normalmente en forma de pequeños cúmulos. La estructura química de la celulosa no tiene una excesiva importancia en este caso. En la superficie, los sulfatos tenían una estructura diferente en comparación con el interior de la muestra.

Como ya se ha dicho antes, el proceso de configuración del yeso en presencia de celulosa es más lento debido a que los polímeros absorben el agua. Este hecho no se resolvió en este estudio ya que era imposible monitorizar la interacción entre las moléculas de agua y los polímeros.

## 4. ELECCIÓN JUSTIFICADA DEL MATERIAL ELEGIDO

Debido a la cantidad de residuo generado actualmente por el papel de periódico y la situación en la que se encuentra este material, al estar en un proceso de desuso, consideramos que se trata de un compuesto apropiado para la realización de esta propuesta.

Se trata de un material biodegradable, a base de celulosa (láminas constituidas por un entramado tridimensional de fibras de celulosa y otras sustancias), el cual causa efectos negativos al medio ambiente en su producción debido a la tala masiva de árboles, el consumo de grandes cantidades de agua y energía necesaria para su producción o la contaminación del aire y el agua en este proceso.

### 4.1. PROCESO DE OBTENCIÓN DE LA PULPA DE PAPEL DE PERIÓDICO

Para llevar a cabo esta investigación, utilizaremos papel de periódico en forma de pulpa de papel de periódico, el cual llega a este punto tras un proceso de mojado durante varios días, consiguiendo así un compuesto fácilmente moldeable que pierde sus capacidades iniciales. Más tarde se procede a su secado intentando que contenga el menor porcentaje de agua posible.

Esta masa será unida con diferentes porcentaje de yeso, 5%, 7% y 10 %, con una relación agua/yeso de 0.55, para la obtención, así, de un baremo más amplio de los resultados de los ensayos mecánicos y de absorción acústica.

Cabe destacar que en este proceso existe un aumento de agua, debido a la cantidad de agua que contenía la pulpa de papel de periódico antes de su mezcla con el yeso, debido a no haber llegado a su completo secado antes de la amasada con su componente base. Esto puede variar los resultados obtenidos en el proceso, pero igualmente se comparará con probetas base de 100% de yeso y una relación de agua/yeso igual a la que usaremos nosotros.



[FIGURA 4, 5 y 6] PROCESO DE ELABORACIÓN DE PULPA DE PAPEL DE PERIÓDICO (fuente: [www.google.es](http://www.google.es))

Por otra parte, en el proceso de obtención de la pulpa de periódico, hay que destacar los efectos que produce en el agua al entrar en contacto con el papel de periódico, y con ello, con la tinta que este contiene, convirtiendo el agua limpia en un elemento contaminado.

Primeramente, el agua contaminada se define como una o más sustancias que se han acumulado en ella hasta el punto de no poder usarla tanto para personas, animales o plantas.

El agua de uso común es un bien escaso, debido a que procede de agua dulce, la cual es un 2.5% del agua total del planeta. En este uso se puede abarcar el uso doméstico, industrial y de agricultura.

Este tipo de aguas son tratadas de la siguiente forma [22]:

- Transporte del agua contaminada a las plantas de tratamiento.
- En el proceso de tratamiento se depuran las aguas y se decantan los fangos residuales.
- El agua depurada tiene un nuevo uso para riego y uso industrial.



[FIGURA 7] ESQUEMA SOBRE EL RECICLAJE EN EL AGUA CONTAMINADA (fuente: [www.acteco.es](http://www.acteco.es))

## 4.2 BALANCE AMBIENTAL

El cierre del ciclo de papel y cartón, con su reciclaje y posterior utilización, para producir nuevos productos en sustitución a la materia prima, se ahorra, por cada tonelada de papel reciclado, 4 m<sup>3</sup> de madera, lo cual equivale a 12 árboles.

Esto conlleva un ahorro energético del 70%, en comparación con los procesados desde la materia prima. Disminución de la contaminación atmosférica, debido a la disminución gaseosa en un 74%, y ahorrando hasta un 74% de agua.

Según el artículo de Acteco, sobre el reciclaje del papel y el cartón, estos reducen, por cada tonelada, 140 litros de petróleo, 50.000 litros de agua y 2 m<sup>3</sup> de espacio en vertederos.

## 5. PLAN DE ENSAYOS PROPUESTOS

Antes de nada, cabe destacar el proceso de obtención de las probetas para cada ensayo, siendo este muy similar en todo.

Empezando por el cálculo, según los porcentajes de papel de periódico usado, para medir la cantidad de yeso y de agua necesario para cada amasada dependiendo del tipo de molde.

Posteriormente se mezcla la cantidad de yeso, agua y pulpa de papel de periódico obtenido por nosotros, intentando llegar a la mayor homogeneidad entre los distintos compuesto.

Por último se vierte en el molde que corresponde a cada tipo de ensayo, tanto acústico como mecánico.



[FIGURA 8, 9, 10 ,11] PROCESO DE ELABORACIÓN DE PROBETAS (fuente: propia)

### 5.1. ENSAYO DE ABSORCIÓN ACÚSTICA: TUBO DE KUNDT

Primeramente, el **ensayo acústico** (VER APÉNDICE A), el cual se realizara mediante el Tubo de Kundt, serán de forma cilíndrica con un diámetros de 9.50 cm y un espesor de 2 cm. Debido a que lo importante de estas probetas es que entren en el molde del ensayo, es preferible hacerlas más pequeñas para no tener problemas a la hora de realizarlo, por ello utilizaremos una capacidad de  $120 \text{ cm}^3$ , es decir, 120 g por probeta.

Además, para ver los cambios causados por la integración del nuevo material, se realizará una probeta totalmente blanca (100% yeso).

Grupo 4\_Acústico\_5%\_1



[FIGURA 12] TIPOS DE PROBETAS



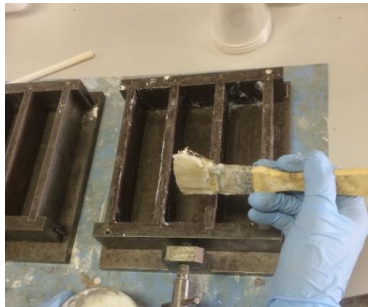
[FIGURA13] PROBETA EN EL TUBO DE KUNDT

(fuente: propia)

## 5.2. ENSAYO MECÁNICO

Por último, en el **ensayo mecánico** (VER APÉNDICE B), las probetas son facilitadas por el laboratorio, realizando 6 probetas por estudiante (18 probetas en total), de forma prismática con dimensiones 4 x 4 x 16 cm. Así, cada probeta tiene una capacidad aproximadamente 300 g/probeta (1800 g en total por alumno).

Grupo 4\_Mecánico\_5%\_1



[FIGURA 14] MOLDES DE ENSAYO MECÁNICO

[FIGURA 15] MOLDES CON AMASADA APLICADA  
(fuente: propia)

La proporción que usaremos en la adición al material conglomerante para la realización del estudio será del **5%**, usando los datos obtenidos en las probetas de otros porcentajes para comparar los resultados obtenidos con nuestra proporción y poder comprobar de una forma más exhaustiva los comportamientos que tiene este nuevo material.

## 6. ELABORACIÓN APROPIADA AL TIPO DE ENSAYO

Lo primero que debemos realizar son los cálculos adecuados a cada tipo de ensayo, realizando primero las probetas del porcentaje más bajo, debido a que es más fácil que encontremos un error con un porcentaje menor.

	COMPONENTES (g)	MUESTRAS			
		0%	5%	7%	10%
ENSAYO ABSORCIÓN ACÚSTICA	PAPEL	0	6	8.4	12
	YESO	120	114	111.6	108
	AGUA	82.50	62.70	61.38	59.4
	CANTIDAD TOTAL	120	120	120	120
ENSAYO MECÁNICO	PAPEL	-	90	180	126
	YESO	-	1710	1620	1674
	AGUA	-	940.5	891	920.7
	CANTIDAS TOTAL	-	1.800	1.800	1.800

[TABLA 2]. PORCENTAJES USADOS EN LA ELABORACIÓN DE PROBETAS

**NOTA:** para el ensayo de absorción acústica era recomendable la realización de tres probetas por estudiantes, pero debido a problemas con las probetas realizadas, usaremos una probeta por porcentaje y por alumno.

### 6.1 ENSAYO DE ABSORCIÓN ACÚSTICA: TUBO DE KUNDT

En primer lugar, como ya hemos comentado anteriormente, empezaremos con el análisis de los resultados obtenidos en el ensayo de absorción acústica, el cual se realiza mediante el tubo de Kundt (ver APÉNDICE A).

FRECUENCIAS (Hz)	MUESTRAS	P <sub>máx</sub> (mv)	P <sub>mín</sub> (mV)	Razón de onda estacionaria (n)	$\alpha$
250	0%	25,00	0,84	29,83	0,13
	5%	25,30	1,05	24,10	0,15
	7%	25,10	0,84	29,88	0,13
	10%	25,60	0,78	33,03	0,11
500	0%	26,10	1,18	22,12	0,17
	5%	25,10	2,69	9,33	0,35
	7%	26,30	1,50	17,53	0,20
	10%	25,60	1,78	14,38	0,24
1000	0%	3,46	0,20	17,56	0,20
	5%	4,00	0,15	26,14	0,14
	7%	3,75	0,40	9,49	0,34
	10%	4,25	0,33	12,84	0,27
2000	0%	0,20	0,00	123,13	0,29
	5%	0,21	0,01	24,47	0,15
	7%	0,21	0,01	19,52	0,19
	10%	0,21	0,01	18,39	0,20

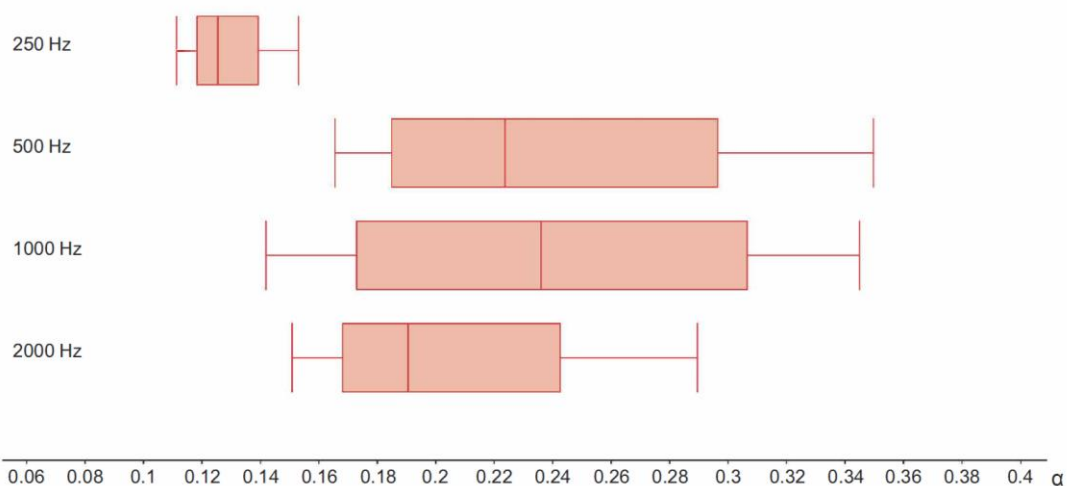
[TABLA 3]. RESULTADOS DE ENSAYO DE ABSORCIÓN ACÚSTICA.

Para empezar, estudiaremos los datos obtenidos en el ensayo con las diferentes frecuencias usadas (2.000, 1.000, 500 y 250 Hz) y vemos la variación de resultados en los diferentes porcentajes usados en cada probeta.

#### -DIAGRAMA DE CAJAS Y BIGOTES

Lo primero que observamos en el **diagrama de cajas**, es la poca simetría que presenta el material en todas las frecuencias, siendo la más simétrica la que corresponde a 1.000 Hz. Esto representa la poca distribución de los materiales en las probetas.

También se observa que no existen valores atípicos en ninguna de las frecuencias, obteniendo todas máximas y mínimos, de diferentes maneras.



[FIGURA 16] DIAGRAMA DE CAJAS Y BIGOTES SUPERPUESTAS DE **DIFERENTES FRECUENCIAS**.  
Eje X: absorción acústica, Eje Y: frecuencias (fuente: propia)

En primer lugar, en el diagrama de la frecuencia de 250 Hz, se observa poca variación, debido a la cercanía de los bigotes respecto a la caja, siendo su mínimo y máximo de 0.11 y 0.153 respectivamente. Por otra parte, su valor intercuartil es de 0.021, siendo su mediana y su media muy similares, a pesar de no ser iguales. En su máximo con valor 0.153, se encontraría el porcentaje del 5%, por lo que para esta muestra, en absorciones bajas, la absorción acústica es mejor que en otros casos.

En cuanto al diagrama de 500 Hz, encontramos muy poca homogeneidad en los resultados, ya que el máximo se encuentra muy separado de la caja, siendo este de 0.3497, perteneciente a la muestra del 5%, por lo que presenta la misma cualidad que anteriormente, a frecuencias bajas, esta muestra se comporta mejor que para otros casos. Mientras que el mínimo, con 0.1655 se encuentra mucho más próximo a la caja, teniendo un valor de cuartiles de 0.1849 y 0.2965. La mediana se encuentra mucho más próxima al cuartil 1, encontrándose en esta zona una mayor concentración de material.



El diagrama correspondiente a la frecuencia de 1.000 Hz presenta la mayor simetría entre todas, debido a una menor dispersión de los materiales. Teniendo la mediana y la media un valor muy similar, 0.236 y 0.2397, respectivamente. Por otra parte, el mínimo y el máximo se encuentran a una distancia muy parecida de la caja en ambos puntos, teniendo valores de 0.142 y 0.345, encontrándose el 5% en el mínimo, lo cual quiere decir que para frecuencias altas, el compuesto con 5% se comporta peor que para frecuencias bajas. Mientras que los cuartiles se encuentran a 0.1729 y 0.3065. La variación para esta frecuencia es mucho mayor que para 250 Hz.

Por último, el diagrama correspondiente a 2.000 Hz, el cual presenta una distribución similar al diagrama de 500 Hz, cuenta con poca dispersión de los materiales, encontrándose el mínimo más cerca de la caja que el máximo, con valores de 0.1509 y 0.2895, respectivamente. Por otra parte, la mayor parte de la concentración se encuentra en la zona izquierda, ya que la mediana se encuentra más próxima al cuartil 1 que al cuartil 3, con valores de 0.1682, 0.1905 y 0.2426. Como último dato a observar, vemos que el máximo se encuentra muy alejado de la caja, con un valor de 0.2895.

Como primera observación, vemos que el compuesto con 5% de papel de periódico se comporta mejor a frecuencias bajas-medias, como el caso de 250 y 500 Hz, mientras que la muestra con 7% se comporta mejor en frecuencias media-alta.

FRECUENCIAS (Hz)	MÍNIMO	Q <sub>1</sub>	MEDIANA	Q <sub>3</sub>	MÁXIMO	MEDIA
250	0,1113	0,1183	0,1254	0,1393	0,153	0,1288
500	0,1655	0,1849	0,2237	0,2965	0,3497	0,2407
1.000	0,142	0,1729	0,236	0,3065	0,345	0,2397
2.000	0,1509	0,1682	0,1905	0,2426	0,2895	0,2054

[TABLA 4]. RESULTADOS DEL DIAGRAMA DE CAJAS Y BIGOTES EN FUNCIÓN DE DIFERENTES FRECUENCIAS.

## -ANÁLISIS DE REGRESIÓN DE DOS VARIABLES EN FUNCIÓN DE FRECUENCIAS

Comprobamos en el **análisis de Regresión de dos variables**, que cuanto más alta es la frecuencia mayor coeficiente de correlación posee el material, así, con una frecuencia de 2.000 Hz obtenemos un coeficiente de -0.68, existiendo una correlación negativa, la cual no se acerca al valor 1 o -1, por lo que no existe una relación directa, es decir, que si una de las dos variables (porcentajes usados y  $\alpha$ ) aumenta, la otra no lo hará de forma constante.

En frecuencias medias, la corrección es positiva, teniendo valores de, aproximadamente, 0.5 y 0.315, los cuales, al igual que anteriormente, no presentan una relación directa entre las variables.

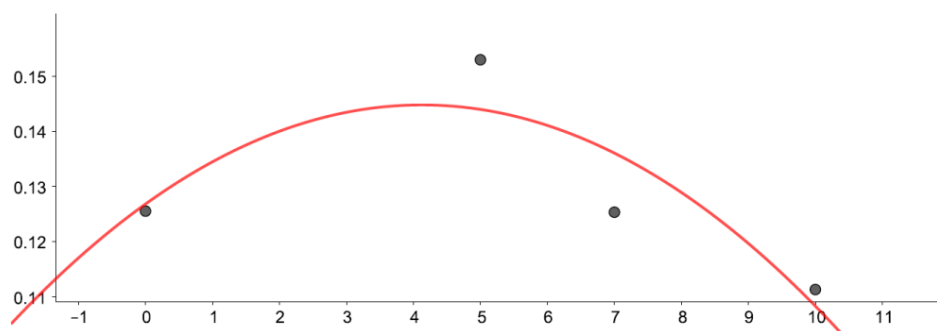
Por último, en la frecuencia más baja, 250 Hz, el coeficiente de correlación vuelve a ser negativo, y muy bajo, con un valor -0.35, lo cual indica lo mismo que anteriormente.

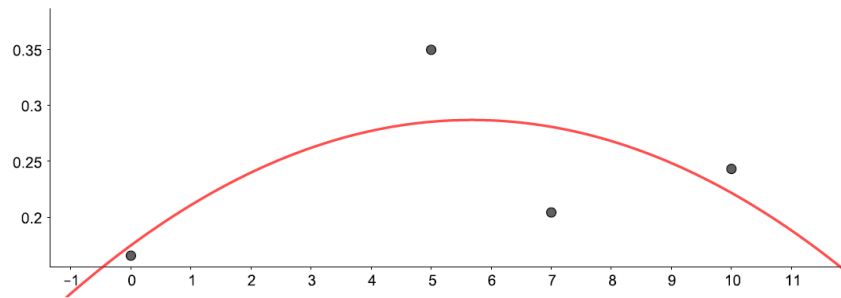
Mirando de forma conjunta el grupo de frecuencias y los porcentajes, observamos un comportamiento polinómico, no lineal, como se muestran en las siguientes gráficas.

		0%	5%	7%	10%
250 Hz	$\alpha$ REAL	0,13	0,15	0,13	0,11
	$\alpha$ DESEADO	0,1369	0,1295	0,1266	0,1222
	Coef. De correlación (r)	-0,3543			
500 Hz	$\alpha$ REAL	0,17	0,35	0,2	0,24
	$\alpha$ DESEADO	0,2079	0,2377	0,2496	0,2674
	Coef. De correlación (r)	0,3152			
1.000 Hz	$\alpha$ REAL	0,2	0,14	0,34	0,27
	$\alpha$ DESEADO	0,18	0,2347	0,2548	0,2849
	Coef. De correlación (r)	0,4844			
2.000 Hz	$\alpha$ REAL	0,29	0,15	0,19	0,2
	$\alpha$ DESEADO	0,25	0,21	0,19	0,16
	Coef. De correlación (r)	-0,6813			

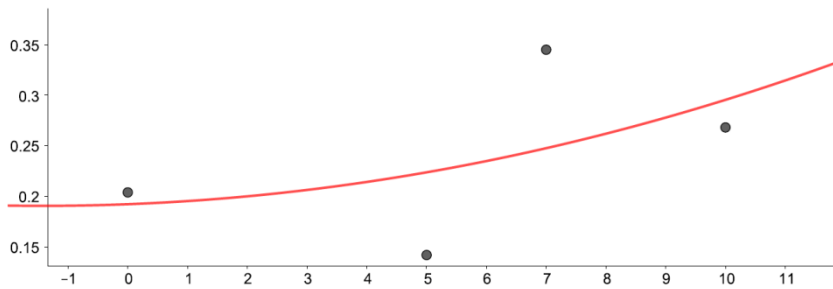
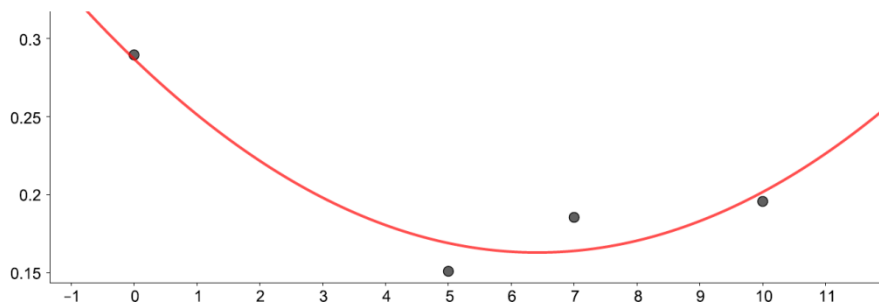
[TABLA 5]. RESULTADO DEL ANÁLISIS DE REGRESIÓN DE DOS VARIABLES EN FUNCIÓN DE DIFERENTES FRECUENCIAS.

Estos resultados también se pueden analizar en los diagramas de dispersión, viendo como a medida que se aumenta la proporción de papel de periódico, disminuye la absorción acústica, siendo esto diferente para la probeta que contiene un 5% de pulpa de papel de periódico, la cual presenta un comportamiento particular, para el cual, habría que realizar más ensayos y saber a qué se debe. Por otra parte, para este compuesto, en frecuencias bajas se comporta mejor que el resto de muestras.



[FIGURA 17] GRÁFICA DE DISPERSIÓN PARA **250 Hz** DE FRECUENCIA. Eje X: absorción acústica, Eje

Y: porcentajes. (fuente: propia)

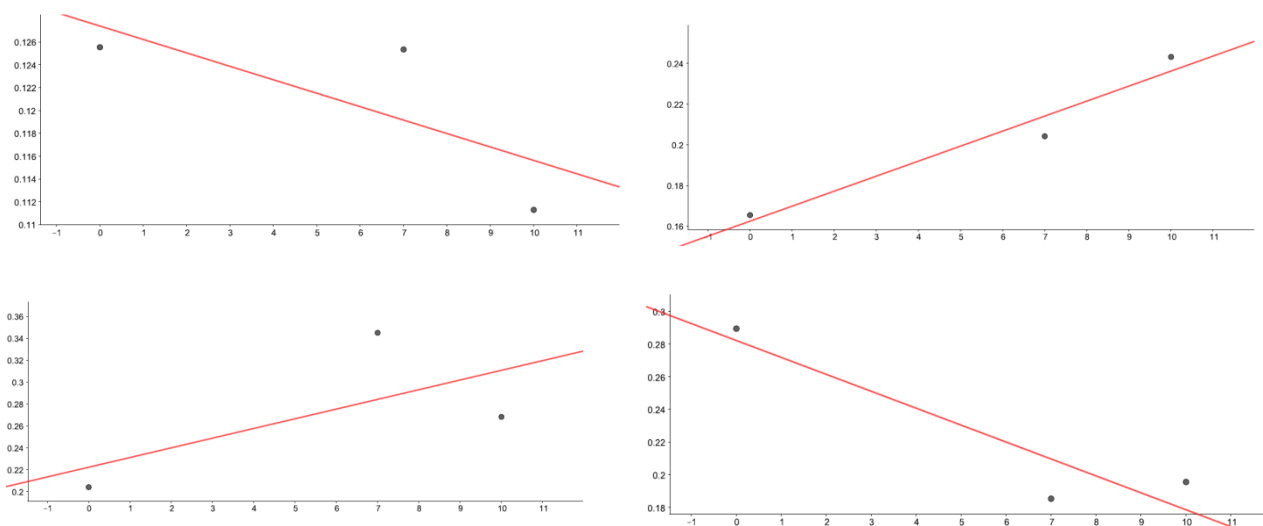
[FIGURA 18] GRÁFICA DE DISPERSIÓN PARA **500 Hz** DE FRECUENCIA. Eje X: absorción acústica, Eje Y: porcentajes. (fuente: propia)[FIGURA 19] GRÁFICA DE DISPERSIÓN PARA **1.000 Hz** DE FRECUENCIA. Eje X: absorción acústica, Eje Y: porcentajes. (fuente: propia)[FIGURA 20] GRÁFICA DE DISPERSIÓN PARA **2.000 Hz** DE FRECUENCIA. Eje X: absorción acústica, Eje Y: porcentajes. (fuente: propia)

### -ANÁLISIS DE REGRESIÓN DE DOS VARIABLES (SIN 5%)

Debido al comportamiento de la probeta del 5%, la cual, como ya hemos comentado, presenta un conducta particular, analizaremos lo que sucede al quitar ese porcentaje y realizar las mismas graficas.

		0%	7%	10%
250 Hz	$\alpha$ REAL	0,13	0,13	0,11
	$\alpha$ DESEADO	0,1255	0,1253	0,1113
	Coef. De correlación (r)	-0,7395		
500 Hz	$\alpha$ REAL	0,17	0,2	0,24
	$\alpha$ DESEADO	0,1655	0,2042	0,2432
	Coef. De correlación (r)	0,9739		
1.000 Hz	$\alpha$ REAL	0,2	0,34	0,27
	$\alpha$ DESEADO	0,2173	0,2824	0,3103
	Coef. De correlación (r)	0,6435		
2.000 Hz	$\alpha$ REAL	0,03	0,2319	0,2
	$\alpha$ DESEADO	0,2039	0,345	0,2681
	Coef. De correlación (r)	-0,9265		

[TABLA 6]. RESULTADO DEL ANÁLISIS DE REGRESIÓN DE DOS VARIABLES EN FUNCIÓN DE DIFERENTES FRECUENCIAS SIN EL PORCENTAJE DEL 5%.



[FIGURAS 21, 22, 23 y 24] GRÁFICAS DE DISPERSIÓN PARA 250, 500, 1.000 y 2.000 Hz DE FRECUENCIAS SIN EL PORCENTAJE DE 5%. Eje X: absorción acústica, Eje Y: porcentajes. (fuente: propia)

Al analizar los resultados sin el porcentaje del 5% vemos que el coeficiente de correlación aumenta para todas las frecuencias, teniendo para 2000 Hz, una correlación casi perfecta negativa, con -0.9265, mientras que para la frecuencia

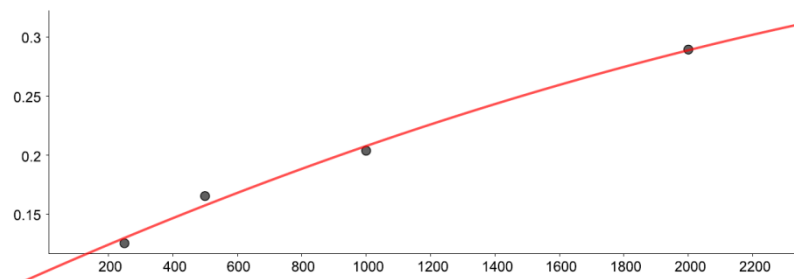
de 500 Hz pasa lo mismo pero en positivo, con 0.9739. Para las frecuencias bajas y medias, es decir, 250 y 1000 Hz tenemos un coeficiente de correlación normal.

#### -ANÁLISIS DE REGRESIÓN DE DOS VARIABLES EN FUNCIÓN DEL PORCENTAJE

A continuación, analizaremos lo que ocurre en función de los porcentajes de cada una de las probetas.

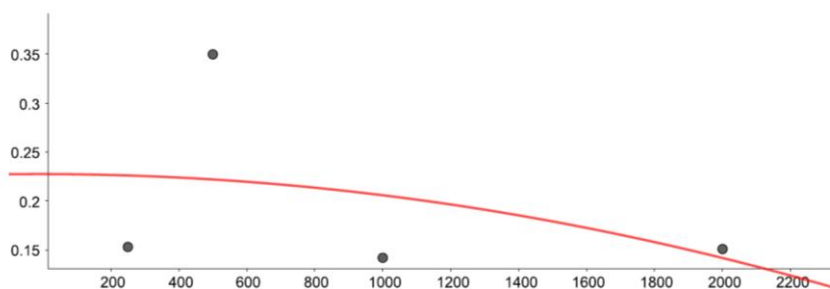
Observamos que para la muestra base, el comportamiento es lineal entre cada una de las frecuencias, consiguiendo un coeficiente de correlación casi perfecto, con un valor de 0.9945.

En ella vemos que a medida que aumenta la frecuencia, la absorción acústica lo hace de forma constante, existiendo una relación directa.



[FIGURAS 25] GRÁFICAS DE DISPERSIÓN EN FUNCIÓN DEL PORCENTAJE DEL 0%. Eje X: absorción acústica, Eje Y: frecuencias. (fuente: propia)

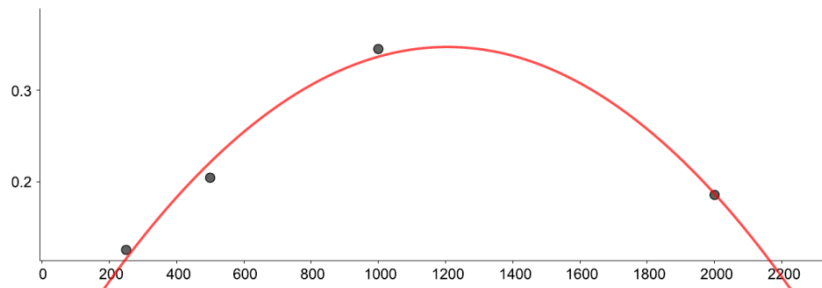
Observamos a primera vista un valor fuera de lo normal para la frecuencia de 500 Hz, donde existe una absorción acústica de 0.35. El resto de valores obtenidos para las demás frecuencias son muy similares. Donde se ve mejor comportamiento es a 500 Hz.



[FIGURAS 26] GRÁFICAS DE DISPERSIÓN EN FUNCIÓN DEL PORCENTAJE DEL 5% Eje X: absorción acústica, Eje Y: frecuencias. (fuente: propia)

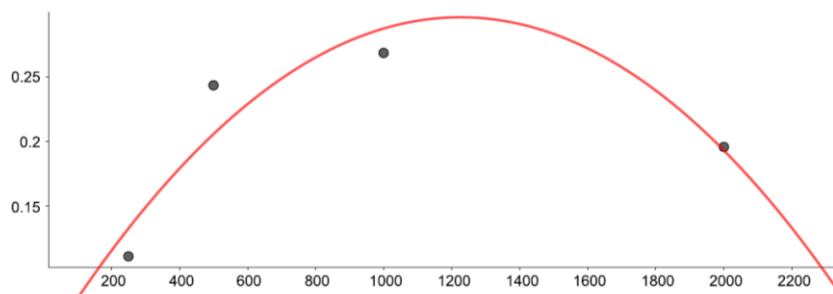
Para la probeta que contiene un 7% de pulpa de papel de periódico, observamos un comportamiento claramente polinómico, donde se ve que para frecuencias medias, la absorción acústica es mayor que para frecuencias altas o bajas. Este conjunto tiene un coeficiente de correlación muy baja, siendo de

0.199, lo cual nos indica que no existe relación entre ambas variables. El mejor comportamiento es en la frecuencia 1.000 Hz.



[FIGURAS 27] GRÁFICAS DE DISPERSIÓN EN FUNCIÓN DEL PORCENTAJE DEL 7%. Eje X: absorción acústica, Eje Y: frecuencias. (fuente: propia)

Al igual que para la probeta con un 7% de material, la que contiene un 10% presenta un comportamiento muy similar, teniendo mayor absorción acústica las frecuencias medias que la alta o la baja. Aunque para el 10% el coeficiente de correlación aumenta un poco, sigue siendo insignificante, con un valor de 0.2603. A excepción de frecuencias bajas, para esta muestra, existe un buen comportamiento en absorción acústica.

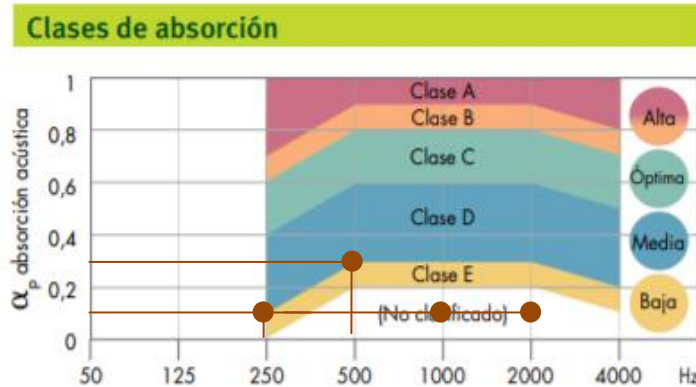


[FIGURAS 28] GRÁFICAS DE DISPERSIÓN EN FUNCIÓN DEL PORCENTAJE DEL 10%. Eje X: absorción acústica, Eje Y: frecuencias. (fuente: propia)

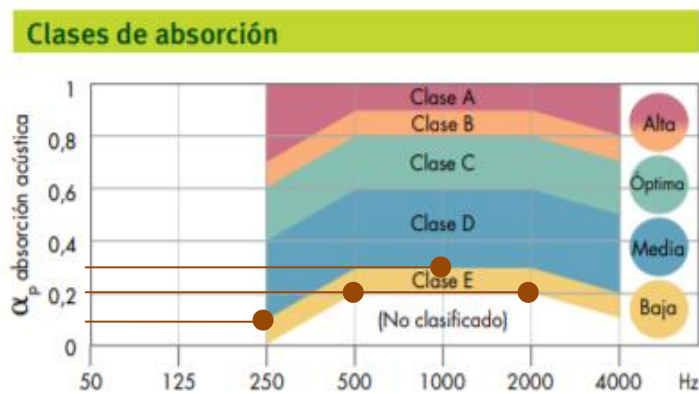
## -COMPARACIÓN CON UNA CASA COMERCIAL

Por último, ponemos en comparación los coeficientes de absorción obtenidos en el ensayo con los coeficientes de un material ya comercializado, Pladur, clasificado por clases de absorción desde la clase A, de alta absorción acústica, hasta la clase E, de baja absorción.

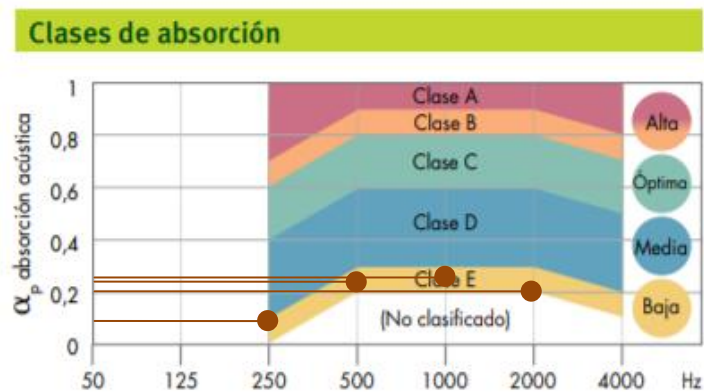
Así, para la muestra de estudio, 5%, vemos que tenemos una clase E para frecuencias bajas (250 Hz), clase E para frecuencias intermedias (500 Hz) y sin calificar para frecuencias altas (1.000 y 2.000 Hz).



[FIGURA 29] **CLASIFICACIÓN DE ABSORCIÓN DE PLADUR INDICANDO LA ABSORCIÓN DE LA MUESTRA DEL 5%**(fuente: catálogo comercial Pladur)



[FIGURA 30. **CLASIFICACIÓN DE ABSORCIÓN DE PLADUR INDICANDO LA ABSORCIÓN DE LA MUESTRA DEL 7%**(fuente: catálogo comercial Pladur)



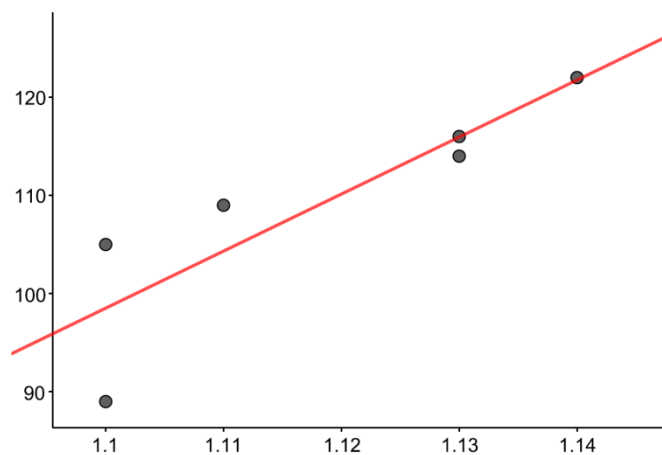
[FIGURA 30]. **CLASIFICACIÓN DE ABSORCIÓN DE PLADUR INDICANDO LA ABSORCIÓN DE LA MUESTRA DEL 10%**(fuente: catálogo comercial Pladur)

Como conclusión de esta comparación, podemos ver, que a frecuencias bajas trabajan bien todos los porcentajes, mientras que a frecuencias medias-altas, los porcentajes de 7% y 10% tienen una absorción baja, mientras que para el 5% no entra dentro de la clasificación que esta casa comercial realiza.

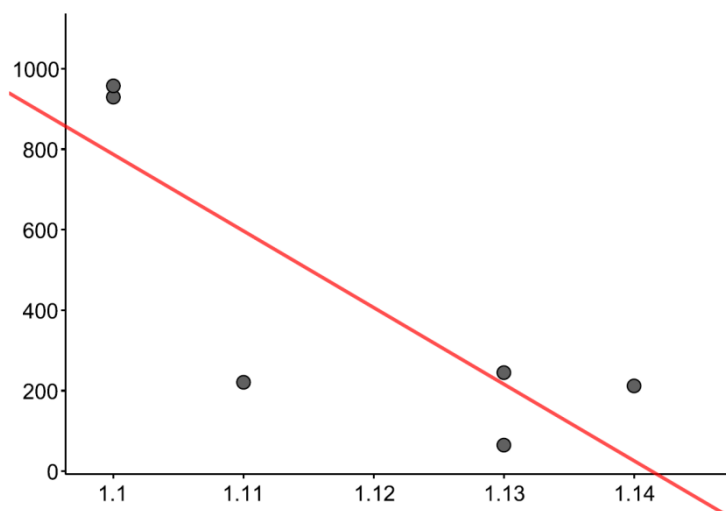
## 6.2 ENSAYO MECÁNICO

Antes de comenzar por el análisis mecánico, comprobaremos la relación existente entre la densidad y los resultados obtenidos en los ensayos realizados en el laboratorio, tanto a flexión como a compresión en ambas caras, para comprobar la existencia o no de alguna muestra que falle en todas las graficas, lo cual nos reflejaría la existencia de una muestra mal elaborada con la que no contaríamos para el desarrollo del análisis.

Primero, empezamos con el 5%

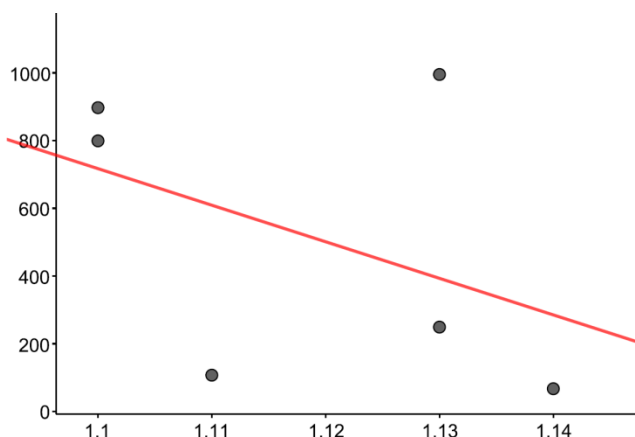


[FIGURA 30] RELACIÓN **DENSIDAD-FLEXIÓN**.  $r=0.8716$ . Eje X: resistencia a flexión, Eje Y: densidad. (fuente: propia)



[FIGURA 31] RELACIÓN **DENSIDAD-COMPRESIÓN**. CARA A.  $r= -0.8267$ . Eje X: resistencia a compresión en la cara A, Eje Y: densidad. (fuente: propia)

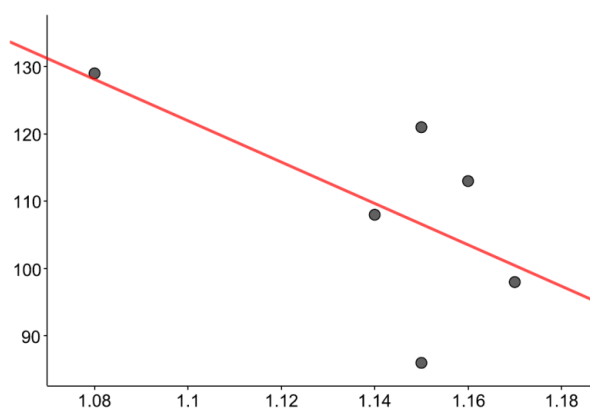




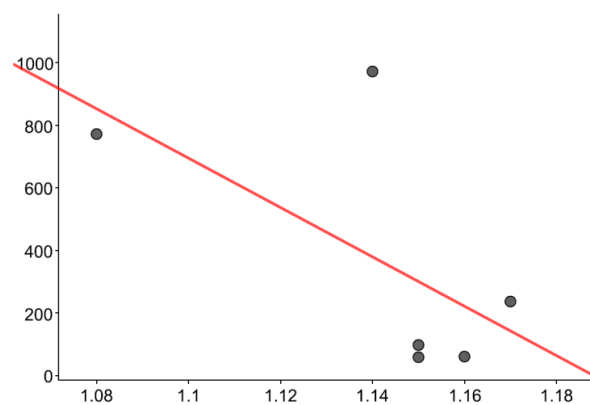
[FIGURA 32] RELACIÓN **DENSIDAD-COMPRESIÓN**. CARA B.  $r = 0.4397$ . Eje X: resistencia a compresión en la cara B, Eje Y: densidad. (fuente: propia)

En este primer porcentaje no observamos ninguna muestra que falle en todas las relaciones, sino algunas que puntualmente tienen un comportamiento diferente, para lo cual habría que realizar más ensayos para obtener más información.

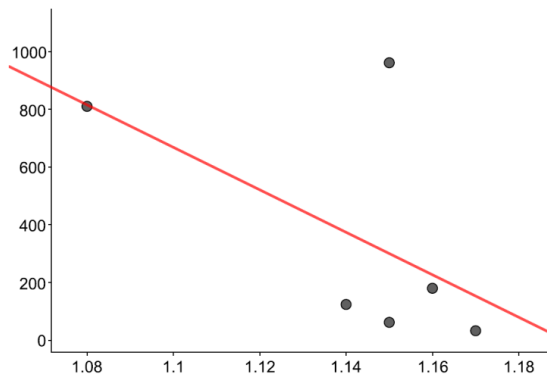
Seguimos, con el 7%, aunque no es el porcentaje de estudio.



[FIGURA 33] RELACIÓN **DENSIDAD-FLEXIÓN**.  $r = -0.6295$ . Eje X: resistencia a flexión, Eje Y: densidad. (fuente: propia)



[FIGURA 34] RELACIÓN **DENSIDAD-COMPRESIÓN CARA A**.  $r = -0.6255$ . Eje X: resistencia a compresión en la cara A, Eje Y: densidad. (fuente: propia)

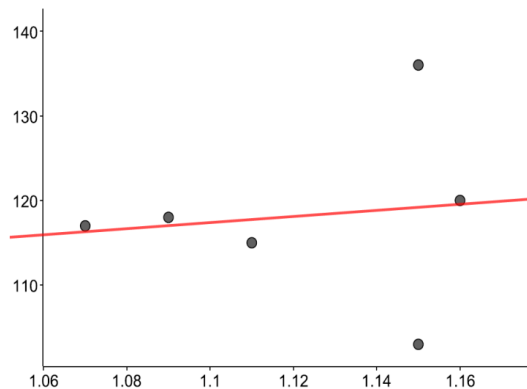


[FIGURA 35] RELACIÓN **DENSIDAD-COMPRESIÓN**. CARA B.  $r = -0.5698$ . Eje X: resistencia a compresión en la cara B, Eje Y: densidad. (fuente: propia)

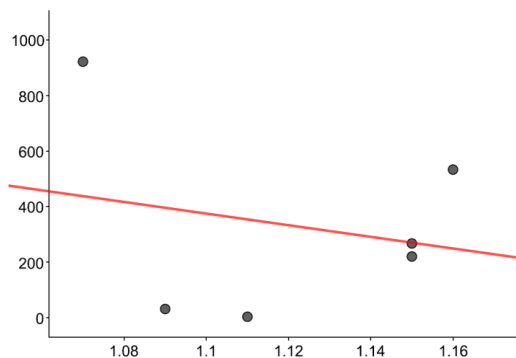
En este segundo porcentaje observamos una muestra que suele tener un comportamiento diferente en todas las relaciones, lo cual no lleva a pensar que puede ser debido a un mal ejecutado de la misma. Esta probeta es la PMYP/7-6, la cual corresponde a la densidad igual a  $1.14 \text{ g/mm}^2$ .

Al realizar las comprobaciones sin esta muestra observamos un incremento del coeficiente de correlación de hasta un 0.87.

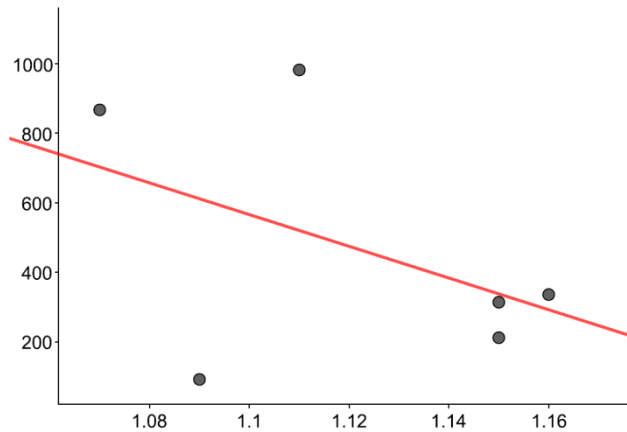
Por último, analizamos lo obtenido en el porcentaje del 10%:



[FIGURA 36] RELACIÓN **DENSIDAD-FLEXIÓN**.  $r = 0.1262$ . Eje X: resistencia a flexión, Eje Y: densidad. (fuente: propia)



[FIGURA 37] RELACIÓN **DENSIDAD-COMPRESIÓN**. CARA A.  $r = -0.2237$ . Eje X: resistencia a compresión en la cara A, Eje Y: densidad. (fuente: propia)



[FIGURA 38] RELACIÓN **DENSIDAD-COMPRESIÓN**. CARA B.  $r = -0.4616$ . Eje X: resistencia a compresión en la cara B, Eje Y: densidad. (fuente: propia)

Encontramos poca relación entre las muestras obtenidas para el porcentaje del 10%, tanto visualmente, como con el coeficiente de correlación, pero ninguna muestra falló de manera repetitiva en todas las relaciones realizadas, por lo que pensamos que puede ser debido a que a mayor porcentaje del material utilizado, los elementos se comportan de manera muy independiente.

A continuación analizaremos los datos obtenidos en el ensayo mecánico, tanto resistencia a flexión, como resistencia a compresión, eliminando únicamente la muestra que corresponde al 7%, (PMYP/7-6).

## ROTURA A FLEXIÓN

PROBETA	FLEXIÓN REAL (kgf)	MEDIA (kgf)	COEF. DE CORRELACIÓN (n)
PMYP/0-1	0.178	0,18	-0,8101
PMYP/0-2	0.174		
PMYP/0-3	0.179		
PMYP/0-4	0.176		
PMYP/0-5	0.197		
PMYP/0-6	0.177		
PMYP/5-1	0.109	0,11	
PMYP/5-2	0.0114		
PMYP/5-3	0.116		
PMYP/5-4	0.122		
PMYP/5-5	0.089		
PMYP/5-6	0.105		
PMYP/7-1	0.098	0,11	
PMYP/7-2	0.086		
PMYP/7-3	0.129		
PMYP/7-4	0.113		
PMYP/7-5	0.121		
PMYP/10-1	0.120	0,12	
PMYP/10-2	0.136		
PMYP/10-3	0.103		
PMYP/10-4	0.117		
PMYP/10-5	0.115		
PMYP/10-6	0.118		

[TABLA 7]. RESULTADOS ENSAYO MECÁNICO.

**NOTA:** Los datos obtenidos de la probeta del 0% son facilitados por el laboratorio para la comparación de los datos obtenidos con el nuevo material.

### -DIAGRAMA DE CAJAS Y BIGOTES

Empezamos comparando los porcentajes usados en la investigación con los resultados obtenidos a **rotura a flexión**, donde primeramente, con el **diagrama de cajas**, observamos en el porcentaje del 0%, una distribución simétrica en la caja, encontrándose el cuartil 1 a 0.176, la mediana a 0.1775 y el cuartil 3 a 0.179, es decir, la misma distancia de la mediana a ambos cuartiles, ya que el valor intercuartil es de 0.003. Por otra parte, el mínimo se encuentra mucho más próximo de la caja que el máximo, que se encuentra muy alejado de ella, siendo el mínimo de 0.174 y el máximo de 0.197, siendo este último un valor atípico por la lejanía con el resto de resultados.

Continuamos analizando la muestra del 5% el cual no tiene simetría, reflejando un poco distribución en la caja, debido a que el cuartil 1 tiene un valor de 0.105, la mediana de 0.1115 y el cuartil 3 de 0.116 (valor intercuartil de 0.11) concentrándose la mayor parte en la zona derecha. En cuanto a los mínimos y máximos, la caja se encuentra más cerca del máximo, estando estas a 0.089 y 0.122, lo cual refleja un comportamiento diferente al anterior, mostrando el

tiempo de falla, es decir, algunos elementos fallan inmediatamente, y los demás fallan posteriormente.

En el porcentaje del 7% es donde comprobamos una mejora de la simetría respecto a las muestras anteriores, teniendo un cuartil 1 de 0.098, una mediana de 0.1105 y un cuartil 3 de 0.121, con un valor intercuartil de 0.32). En los que se refiere a los mínimos y máximos, a primera vista se observa un alejamiento de la caja respecto al mínimo, siendo este de 0.086 y un máximo de 0.129.

Por último, en la muestra del 10% se observa la mayor simetría de todas las muestras, siendo esta muy fuerte en la caja, lo que demuestra una buena distribución en la muestra, teniendo un cuartil 1 de 0.115, una mediana 0.1175 y un cuartil 3 de 0.12, con un valor intercuartil de 0.005 (mismo valor hacia ambos cuartiles). El mínimo y el máximo se encuentran muy alejados de la caja, considerando a estos valores atípicos, con valores de 0.103 y 0.136, respectivamente.

Después de analizar por separado cada muestra, pasamos a analizarlas conjuntamente, para ver la relación de valores entre ambas:

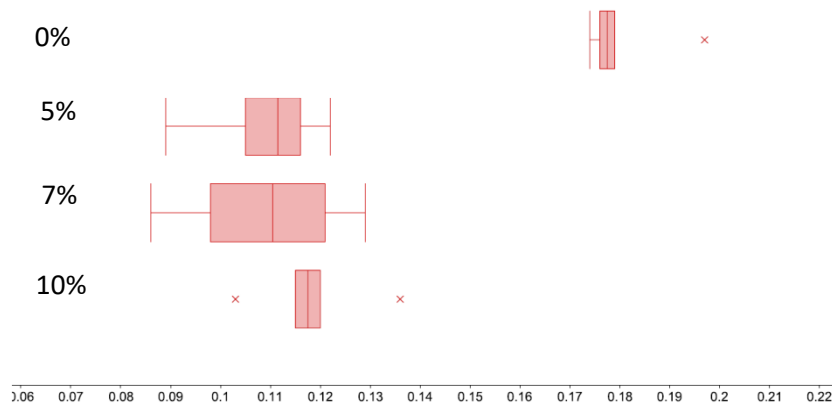
MUESTRAS (%)	MEDIA FLEXIÓN (Kgf)	MÍNIMO	Q <sub>1</sub>	MEDIANA	Q <sub>3</sub>	MÁXIMO
0	0,18	0,174	0,176	0,1775	0,179	0,197
5	0,11	0,089	0,105	0,1115	0,116	0,122
7	0,11	0,086	0,098	0,1105	0,121	0,129
10	0,12	0,103	0,115	0,1175	0,12	0,136

[TABLA 8]. RESULTADOS DEL DIAGRAMA DE CAJAS Y BIGOTES EN FUNCIÓN DE LA RESISTENCIA A FLEXIÓN

Se hace visible que a medida que aumenta la proporción de papel de periódico usada en las muestras, estas están más distribuidas, como se puede comprobar en el siguiente diagrama, ya que, para valores mayores, las cajas son cada vez más simétricas.

De forma general, podemos ver como las muestras que contienen papel de periódico se mueven en un mismo rango, que oscila entre 0.085 y 0.135, aproximadamente, siendo estos valores bastante menores a la muestra que contiene 0% de papel, la cual se mueve entre unos valores de 0.17 y 0.195.

Con esta observación vemos que nuestros compuesto no mejoran en resistencia a flexión respecto a una muestra hecha totalmente de yeso.

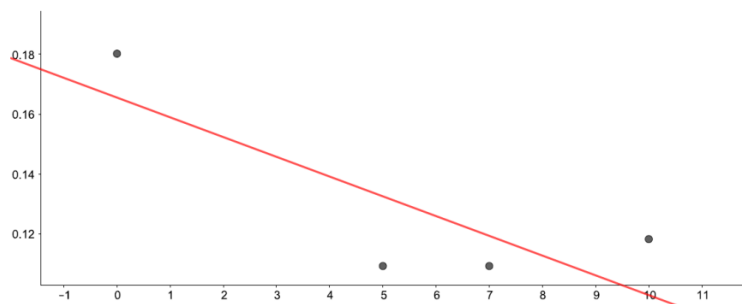


[FIGURA 39] DIAGRAMA DE CAJAS Y BIGOTES SUPERPUESTAS DE DIFERENTES PORCENTAJES Y LOS RESULTADOS DE FLEXIÓN. Eje X: resistencia a flexión, Eje Y: porcentajes. (fuente: propia)

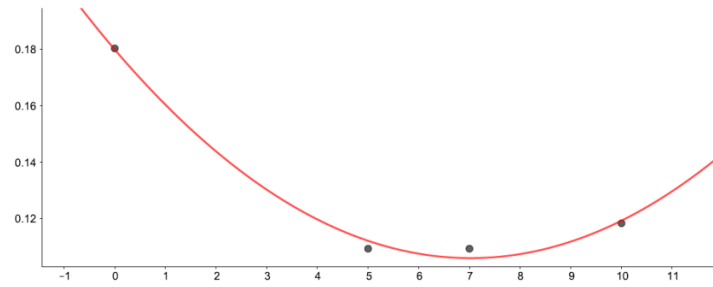
### -ANÁLISIS DE REGRESIÓN DE DOS VARIABLES

Continuamos con el análisis de los porcentajes usados con el resultado de resistencia a flexión mediante la **resta de regresión de dos variables**, donde observamos que con el conjunto de las muestras obtenemos una recta negativa, es decir, que a medida que se aumentan los porcentajes de papel de periódico, la muestra pierde resistencia a flexión, aumentando relativamente en el 10%, con un coeficiente de correlación en el conjunto de  $-0.81$ , tratándose de una correlación negativa casi perfecta.

Por otra parte, se observa que el conjunto de porcentajes no se comporta de forma lineal, debido a que el porcentaje de 5% y 7% tienen una media igual, siendo la conducta más cercana al comportamiento polinómico ideal, como se muestran en las siguientes gráficas, teniendo una tendencia a disminuir con el 0%, mientras que si miramos solo las muestras que contienen papel de periódico, la tendencia de estas es de aumentar.



[FIGURA 40] GRÁFICA DE DISPERSIÓN DEL DIFERENTES PORCENTAJES Y LOS RESULTADOS DE FLEXIÓN. RECTA LINEAL Eje X: resistencia a flexión, Eje Y: porcentajes. (fuente: propia)



[FIGURA 41] GRÁFICA DE DISPERSIÓN DE **DIFERENTES PORCENTAJES** Y LOS RESULTADOS DE FLEXIÓN. RECTA PONENCIAL. Eje X:resistencia a flexión, Eje Y: porcentajes. (fuente: propia)

MUESTRAS (%)	MEDIA FLEXIÓN (Kgf)	MEDIA FLEXIÓN DESEADA - Lineal (Kgf)	MEDIA FLEXIÓN DESEADA - polinómica (Kgf)	Coficiente de correlación <sup>®</sup>
0	0,18	0,1655	0,1798	-0,8101
5	0,11	0,1325	0,122	
7	0,11	0,1193	0,1059	
10	0,12	0,0995	0,1191	

[TABLA 9]. RESULTADO DEL ANÁLISIS DE REGREASIÓN DE DOS VARIABLES EN FUNCIÓN DE LOS DIFERENTES POCENTAJES Y LOS RESULTADOS DE FLEXIÓN.

Así, vemos, de forma más clara, la mejora del conjunto de muestras en una recta polinómica, acercándose más los valores deseados, a los obtenidos en la rotura a flexión de estas muestras.

## ROTURA A COMPRESIÓN

Seguimos comparando los porcentajes usados en el estudio con los resultados obtenido a rotura a compresión en ambas caras (A y B).

### 1. CARA A

#### -DIAGRAMA DE CAJAS Y BIGOTES

En primer lugar, en la **cara A**, vemos una distribución poco homogénea, siendo el **diagrama de cajas** asimétrico en todas las muestras.

En la muestra del 0% de papel de periódico vemos, en el diagrama de cajas y bigotes, que la caja se acerca mucho más al máximo que al mínimo, siendo estos de 1.61 y 1.38, respectivamente, teniendo el cuartil 1 con un valor de 1.48, la mediana con 1.575 y el cuartil 3 con 1.60, con un valor intercuartil de 0.12, encontrándose la mayor parte de la concentración en la zona derecha. Con la posición del cuartil 3 con respecto del máximo comprobamos un tiempo

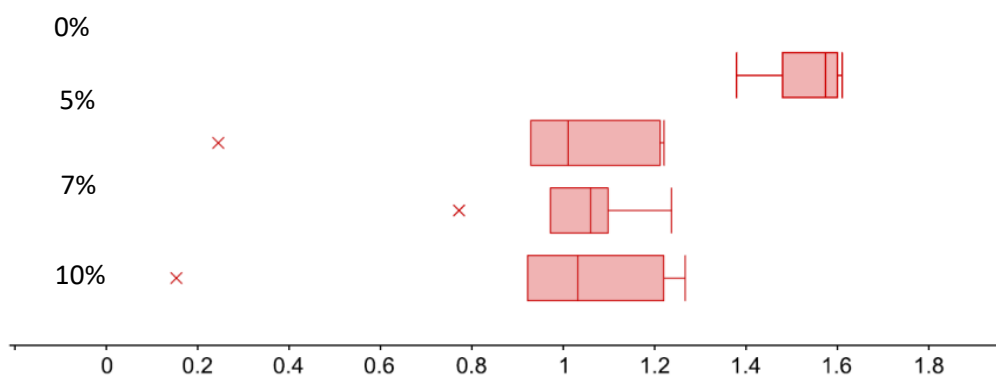
de falla, es decir, unos pocos elementos fallan inmediatamente y muchos más fallan posteriormente.

En la muestra del 5% comprobamos primeramente un valor atípico en el mínimo, debido a la lejanía de este valor con el resto de valores obtenidos, con 0.245. En cuanto al máximo, se encuentra muy próximo al cuartil 3, con un valor de 1.61, lo cual indica un tiempo de falla. En cuanto a la caja, encontramos el cuartil 1 con un valor 1.48, la mediana con 1.575 y un cuartil 3 con 1.60. Así el valor intercuartil es de 0.12, esto indica que la mayor parte de la concentración se encuentra en la zona derecha.

En cuanto a la muestra del 7% observamos, al igual que en la muestra anterior, un valor atípico en el mínimo, con un valor de 0.772 y un máximo de 1.237. En cuanto a la caja, vemos la mayor parte de la concentración en la zona derecha, con valores de cuartil 1 con 0.972, mediana con 1.06 y el cuartil 3 con 1.098, por lo que el valor intercuartil es de 0.126.

Por último, en la muestra del 10% encontramos el mínimo más alejado de todas las muestras, reflejándose como un valor atípico por esta lejanía, con un valor de 0.1533. Por otra parte la caja se encuentra muy cerca del máximo, con un valor de este de 1.267, esto refleja, al igual que en las muestras anteriores un tiempo de falla, es decir, la mayor parte de los elementos fallan pasado un tiempo. Centrándonos en la caja, esta cuenta con un cuartil 1 de 0.922, una mediana con 1.032 y un cuartil 3 con 1.22 (el valor del rango intercuartil es de 0.298).

La relación ente las muestras analizadas por separada se reflajan en la siguiente tabla y gráfica de forma conjunta:



[FIGURA 42] DIAGRAMA DE CAJAS Y BIGOTES SUPERPUESTAS DE **DIFERENTES PORCENTAJES** Y LOS RESULTADOS DE **COMPRESIÓN. CARA A**. Eje X: resistencia a compresión en la cara A, Eje Y: porcentajes. (fuente: propia)

Se observa, al igual que en el diagrama de cajas y bigotes de la resistencia a flexión que las muestras se mueven dentro del mismo rango, de 0.9 a 1.30, mientras que la muestra inicial presenta una mayor resistencia a compresión en la cara A que el resto.



Por último, las muestras no están distribuidas, siendo el caso del 0% y 7%, con mayor concentración en la zona derecha, mientras que en el caso del máximo, 10% y el 5%, la mayor parte de la concentración se encuentra en la zona izquierda.

MUESTRAS (%)	MEDIA COMPRESIÓN - CARA A (Kgf)	MÍNIMO	Q <sub>1</sub>	MEDIANA	Q <sub>3</sub>
0	1,54	1,38	1,48	1,575	1,6
5	0,94	0,245	0,929	1,011	1,212
7	1,03	0,772	0,972	1,06	1,098
10	0,94	1,533	0,922	1,032	1,22

[TABLA 10]. RESULTADO DEL ANÁLISIS DEL DIAGRAMA DE CAJAS Y BIGOTES EN FUNCIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN EN LA CARA A

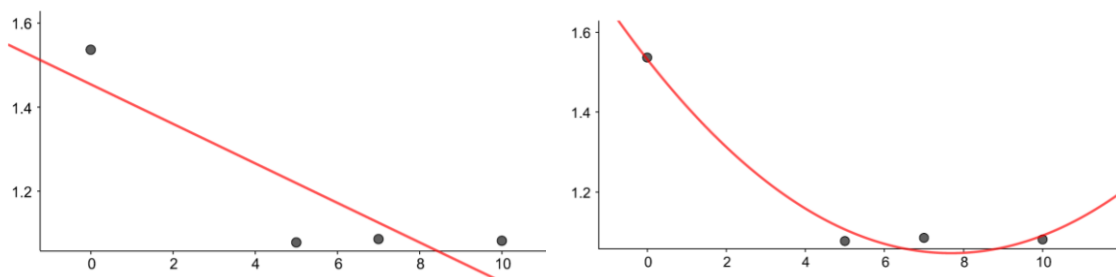
### - ANÁLISIS DE REGRESIÓN DE DOS VARIABLES

Seguimos con el análisis de la recta **de regresión de dos variables**, poniendo en relación los porcentajes usados en las diferentes muestras con los resultados de rotura a compresión en la **cara A**, donde observamos, al igual que en el caso de flexión, un comportamiento del conjunto de las muestras que se acerca más al comportamiento ideal de una recta polinómica.

Para este análisis hemos quitado los puntos atípicos de cada porcentaje para conseguir gráficas más coherentes.

Observamos una recta negativa, lo cual quiere decir que a medida que aumenta el porcentaje de papel de periódico, la resistencia a compresión en la cara A disminuye, salvo en el punto 5, el cual cuenta con el mismo valor que el porcentaje 10, con un coeficiente de correlación negativo casi perfecto, con un valor de -0.8707.

Así se muestran en los diagramas siguientes:



[FIGURA 43] GRÁFICA DE DISPERSIÓN DE **DIFERENTES PORCENTAJES** Y LOS RESULTADOS DE **COMPRESIÓN. CARA A**. RECTA LINEAL. Eje X: porcentajes, Eje Y: resistencia a compresión en la cara A. (fuente: propia)

[FIGURA 44] GRÁFICA DE DISPERSIÓN DE **DIFERENTES PORCENTAJES** Y LOS RESULTADOS DE **COMPRESIÓN. CARA A**. RECTA PONENCIAL. Eje X: porcentajes, Eje Y: resistencia a compresión en la cara A. (fuente: propia)

Comparando los porcentajes usados en el ensayo, con el material de partida (0% papel de periódico), se observa un descenso muy significativo de las resistencias a compresión de los nuevos materiales en la cara A, a pesar de tener una relación entre los resultados de resistencia a compresión y los porcentajes usados, de todo el conjunto, casi perfecta.

MUESTRAS (%)	MEDIA COMPRESIÓN - CARA A (Kgf)	MEDIA COMPRESIÓN - CARA B DESEADA - Lineal (Kgf)	MEDIA COMPRESIÓN - CARA B. DESEADA - polinómica (Kgf)	Coefficiente de correlación ( r )
0	1,35	1,45	1,53	-0,8695
5	1,08	1,21	1,1	
7	1,09	1,12	1,05	
10	1,08	0,98	1,09	

[TABLA 11]. RESULTADO DEL ANÁLISIS DE REGRESIÓN DE DOS VARIABLES EN FUNCIÓN DE LOS DIFERENTES PORCENTAJES Y LOS RESULTADOS DE COMPRESIÓN EN CARA A

Observamos de forma más clara, la relación entre las diferentes muestras, viendo un comportamiento más parecido al comportamiento de una recta polinómica ideal, debido a que los valores deseados en la forma polinómica se asemejan más a los resultados obtenidos mediante la rotura de las probetas a compresión.

## 2. CARA B

### -DIAGRAMA DE CAJAS Y BIGOTES

Seguimos con el mismo procedimiento para analizar los resultados obtenidos en la **cara B**.

Primeramente, en el **diagrama de cajas y bigotes**, observamos en la muestra de porcentaje 0% de papel de periódico, un punto atípico en el mínimo con un valor de 1.2. Por otra parte, la caja se encuentra muy cerca del máximo, con un valor de 1.66, indicando esto unos fallos instantáneos en algunos elementos, pero la mayoría fallan con el paso del tiempo. En cuanto a la caja, vemos un cuartil 1 de 1.52, una mediana de 1.54 y un cuartil 3 de 1.63, así el rango intercuartil es de 0.11, encontrándose la mayor concentración en la zona de la izquierda.

En cuanto a la muestra del 5% de papel de periódico, vemos, al igual que en la anterior, un punto atípico en el mínimo, con un valor 0.249, encontrándose muy

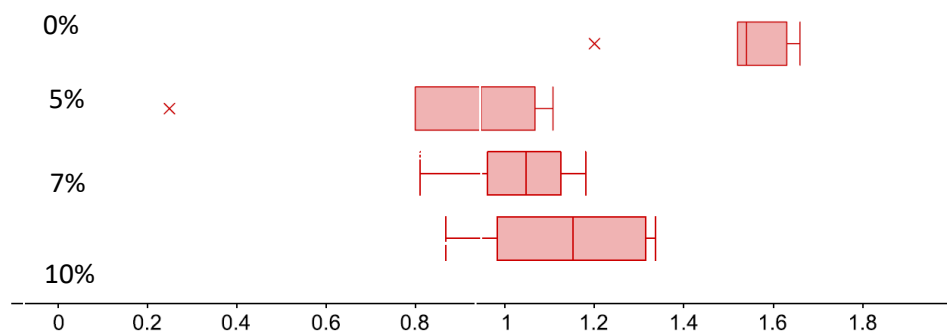
alejado del conjunto de la caja, estando está muy cerca del máximo, con un valor de 1.107, refiriéndose esto, al igual que anteriormente al tiempo de falla. Por otra parte, el cuartil 1 tiene un valor de 0.799, una mediana con 0.946 y un cuartil 3 con 1.067, teniendo un rango intercuartil de 0.268, teniendo esta cierta simetría, pero teniendo mayor concentración en la zona derecha.

Al analizar lo obtenido con la muestra del 7%, comprobamos el mínimo, con un valor de 0.81, más separado de la caja que el máximo, con un valor de 1.18. En la caja podemos encontrar cierta simetría, sin ser esta exacta, con valores en el cuartil 1 de 0.961, una mediana con valor de 1.0475 y un cuartil 3 con 1.124, así el rango intercuartil es de 0.163, encontrándose más concentración en el lado derecho.

Con el 10%, al igual que con las muestras anteriores, encontramos la caja más cercana al máximo, con un valor de 1.336, que al mínimo, con un valor de 0.867, debiéndose al tiempo de falla. En cuanto a la caja, encontramos simetría, con valores de cuartil 1, 0.982, la mediana con 1.152 y un cuartil 3 de 1.314, teniendo un rango intercuartil de 0.285, estando la mediana casi a la misma distancia de cada cuartil.

MUESTRAS (%)	MEDIA COMPRESIÓN - CARA B (Kgf)	MÍNIMO	Q <sub>1</sub>	MEDIANA	Q <sub>3</sub>	MÁXIMO
0	1,52	1,2	1,52	1,54	1,63	1,66
5	0,85	0,249	0,799	0,946	1,067	1,107
7	1,03	0,81	0,961	1,047	1,124	1,18
10	1,13	0,867	0,982	1,15	1,314	1,336

[TABLA 12]. RESULTADO DEL ANÁLISIS DEL DIAGRAMA DE CAJAS Y BIGOTES EN FUNCIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN EN LA CARA B



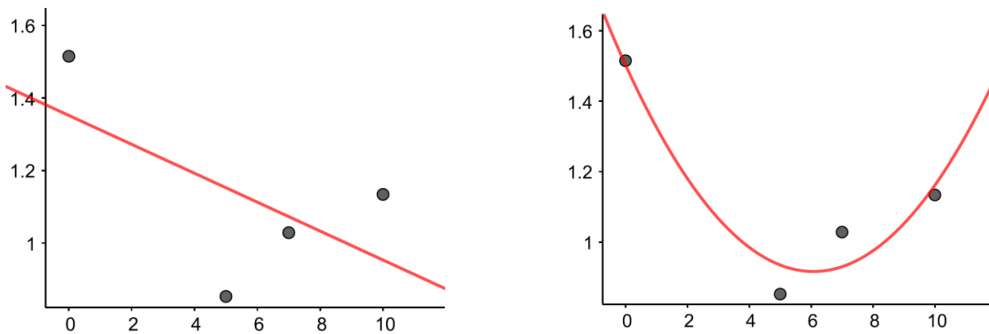
[FIGURA 45] DIAGRAMA DE CAJAS Y BIGOTES SUPERPUESTAS DE DIFERENTES PORCENTAJES Y LOS RESULTADOS DE COMPRESIÓN. CARA B. Eje X: resistencia a compresión en la cara B, Eje Y: porcentajes. (fuente: propia)

## - ANÁLISIS DE REGRESIÓN DE DOS VARIABLES

Al igual que en los resultados analizados anteriormente, en el análisis de la línea de regresión de dos variables, en función de los porcentajes usados en las muestras realizadas y la resistencia a compresión de la cara B, vemos que el conjunto de muestras se asemejan mejor a una recta polinómica ideal que a una recta lineal ideal.

En este análisis ocurre lo mismo que en el de la cara A, ya que las muestras con papel de periódico se mueven dentro del mismo rango, de 0.8 a 0.35m de forma descendente al aumentar el papel usado.

Por otra parte comprobamos una tendencia negativa, al igual que anteriormente, debido a que a medida que aumenta la proporción de papel de periódico usada, disminuye la resistencia a compresión en la cara B, con un coeficiente de correlación de -0.59, siendo un correlación normal.



[FIGURA 46] GRÁFICA DE DISPERSIÓN DE **DIFERENTES PORCENTAJES** Y LOS RESULTADOS DE **COMPRESIÓN. CARA B. RECTA LINEAL**. Eje X: porcentajes, Eje Y: resistencia a compresión en la cara B. (fuente: propia)

[FIGURA 47] GRÁFICA DE DISPERSIÓN DE **DIFERENTES PORCENTAJES** Y LOS RESULTADOS DE **COMPRESIÓN. CARA B. RECTA PONENCIAL**. Eje X: porcentajes, Eje Y: resistencia a compresión en la cara B (fuente: propia)

Observamos, al igual que anteriormente con la cara A, las muestras de forma conjunta se asemejan más a una línea polinómica, lo cual quiere decir, que las muestras con porcentajes más bajos y más altos son las que más resistencia a compresión presentan, siendo estas las muestras del 0% y la del 10%, mientras que las muestras intermedias, 5% y 7%, presentan valores menores.

MUESTRAS (%)	MEDIA COMPRESIÓN - CARA B (Kgf)	MEDIA COMPRESIÓN - CARA B DESEADA - Lineal (Kgf)	MEDIA COMPRESIÓN - CARA B. DESEADA - polinómica (Kgf)	Coefficiente de correlación ( r )
0	1,54	1,4	1,53	-0,5982
5	0,98	1,19	1,01	
7	1,03	1,1	0,98	
10	1,13	0,97	1,14	

[TABLA 13]. RESULTADO DEL ANÁLISIS DEL DIAGRAMA DE CAJAS Y BIGOTES EN FUNCIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN EN LA CARA B

### 6.3 ANÁLISIS DEL PORCENTAJE DEL 5%

Seguiremos con el análisis de la muestra del **5%** en profundidad, intentando sacar las mejoras que presenta el nuevo material (5% papel de periódico + 95 % yeso), respecto al material tradicional sin adición (100% yeso).

En primer lugar comprobamos la densidad del nuevo material, comprobando un descenso de la misma de casi un 10%, y aumentando la desviación típica, pasando de 10.11 a 15.48.

Por otra parte, el coeficiente de variación es mayor que en el de la muestra inicial, por lo que existe una mayor heterogeneidad de los valores de las variables, es decir, los materiales mantienen sus propiedades y se puede distinguir a primera vista.

Nº probeta	Densidad	Densidad	Desv. típica $\sigma$	Media X	Coef. variación (%)
	gr/cm3	kg/m3			
PMYP/5-1	1,12	1116,1	15,48	1123,23	1,38
PMYP/5-2	1,14	1138,8			
PMYP/5-3	1,13	1131,8			
PMYP/5-4	1,14	1143,0			
PMYP/5-5	1,10	1103,2			
PMYP/5-6	1,11	1106,5			

[TABLA 14]. RESULTADO DEL ANÁLISIS DEL DIAGRAMA DE CAJAS Y BIGOTES EN FUNCIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN EN LA CARA B

En cuanto a la comparación de la resistencia a flexión entre ambos materiales continuamos viendo un descenso del nuevo material respecto del inicial, presentando una bajada de hasta un 40%. Por otra parte, vemos un aumento muy notable en el nuevo material tanto en la desviación típica, la cual pasa de 7.21 a 35.16, como en el coeficiente de variación, el cual aumenta de 4.27 a 40.74.

Nº probeta	ROTURA FLEXIÓN 7 DÍAS (v=10 kg/s) (UNE EN 1015-11)		RESISTENCIA FLEXIÓN 7 DÍAS	Desv. típica	Media	Coef. variación
	kgf	N/mm2		$\sigma$	X	(%)
	PMYP/5-1	0,109	102,19			
PMYP/5-2	0,0114	10,69				
PMYP/5-3	0,116	108,75				
PMYP/5-4	0,122	114,38	35,16		86,31	40,74
PMYP/5-5	0,089	83,44				
PMYP/5-6	0,105	98,44				

[TABLA 15]. RESULTADO DEL ANÁLISIS DEL DIAGRAMA DE CAJAS Y BIGOTES EN FUNCIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN EN LA CARA B

A la hora de hablar de compresión, vemos una disminución en los valores del nuevo material en comparación con el material inicial, aunque la diferencia no es muy elevada, bajando este un 20%, por lo que en la colocación de particiones interiores tendrá un comportamiento similar a las placas de yeso convencionales. Aumentando así, la desviación típica, pasando de 0.23 a 0.29, y el coeficiente de variación, pasando de 2.36 a 4.40. Por el contrario, la media de los valores, al disminuir estos valores, estas también lo hace, pasando de 9.53 a 6.64, indicando esto un descenso del conjunto.

Nº probeta	ROTURA COMPRESIÓN 7 DÍAS (v=16kg/s) (UNE EN 1015-11) (KGF)		RESISTENCIA COMPRESIÓN 7 DÍAS (N/mm2)		Desv. típica
	a	b	a	b	
PMYP/5-1	1,22	1,11	7,63	6,92	0,29
PMYP/5-2	1,25	1,25	7,78	7,81	
PMYP/5-3	1,07	1,00	6,66	6,22	
PMYP/5-4	1,21	1,07	7,58	6,67	
PMYP/5-5	0,93	0,80	5,81	4,99	
PMYP/5-6	0,96	0,90	5,98	5,61	

[TABLA 16]. RESULTADO DEL ANÁLISIS DEL DIAGRAMA DE CAJAS Y BIGOTES EN FUNCIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN EN AMBAS CARAS

## 7. CONCLUSIONES DE LOS ENSAYOS

El principal motivo del estudio de nuevos materiales ecoeficientes es la reducción del impacto ambiental, disminuyendo los residuos generados por el hombre en la vida cotidiana, además de la reducción de materiales tradicionales en la construcción que generan contaminación en su producción.

En el presente estudio se ha analizado la conducta de un nuevo material con base de yeso junto con papel de periódico, comprobando el comportamiento mediante ensayos de absorción acústica y mecánica y poder ver con ello la posible aplicación que tenga el nuevo material en un edificio.

En primer lugar, como ya hemos visto, se trata de un material poco absorbente acústicamente, ya que, al compararlo con un material similar ya comercializado vemos como no entra dentro de la clasificación marcada por este, sino que se queda por debajo del nivel mínimo.

- Para las probetas con 7 y 10% de material añadido, se comprueba que aumenta la absorción acústica en frecuencias medias-altas (1000 Hz).

- El comportamiento de las muestras con 5, 7 y 10% es muy diferente al comportamiento que presenta la muestra blanca (0%), ya que para esta, la absorción acústica y las frecuencias presentan una relación directa.

- Buen funcionamiento del nuevo material a frecuencias bajas, para todas las muestras, mientras que para el 7 y el 10% tiene buen comportamiento en el resto.

- Para frecuencias de 1.000 Hz, existe una mayor distribución de los materiales, mientras que para 250 Hz, estos presentan una menor variación.

- El porcentaje del 5% muestra una situación particular al comportarse de forma diferente a lo que lo hace el resto de porcentajes, pudiendo tratarse de un error en la elaboración de las probetas, o por tener una serie de cualidades diferentes al resto de muestras, lo cual habría que analizar en profundidad mediante otros ensayos.

Por otra parte, con el ensayo mecánico comprobamos la resistencia de este material a la rotura a compresión en ambas caras y la rotura a flexión, demostrando una disminución de estos valores, lo que indica que es un material con menor resistencia que el inicial.

- Existe un descenso de la capacidad resistente de las muestras que contienen papel de periódico respecto a la muestra blanca, tanto a flexión como a compresión.

- En flexión, la muestra con un 10% presenta un aumento de capacidad resistente frente a las muestras con 5 y 7%, las cuales presenta un valor muy semejante.
- En rotura a compresión se observa muy poca distribución de los materiales en todos los casos.
- Vemos una mayor distribución de los materiales en la cara B que en la cara A.
- Aumento de la resistencia a compresión en la cara B cuando se aumenta el porcentaje, a pesar de existir mayor correlación en la cara A que la B.

Tras un análisis de las conclusiones tomadas después de los ensayos, llegamos a la definitiva de tener un material absorbente a frecuencias bajas, que presenta una mejor resistencia a compresión y a flexión cuando se le aumenta el porcentaje de papel de periódico usado.

Debido a la buena captación del material a frecuencias bajas la colocación de este es idónea en habitáculos donde la exposición de sonidos a baja frecuencia sea elevada.

Por otra parte, la resistencia a compresión del material, a pesar de descender respecto al material de 100% yeso, sigue teniendo valores válidos para su colocación como revestimiento interior, lo cual analizaremos más a fondo a continuación.

Elegimos la muestra del 5% para colocarla como partición interior en forma de placas de yeso laminado, ya que presenta una resistencia a flexión y a compresión menor al material inicial, lo cual quiere decir que no puede colocarse como un elemento estructural o un elemento que necesite de gran capacidad mecánica.

Por otra parte, debido a tener una absorción acústica media en frecuencias bajas, idónea para un uso domestico donde el exceso de ruido no se encuentra presente.



## 8. PROPUESTA DE PRODUCTO

Después del conjunto de ensayos y análisis de los datos obtenidos, es importante compararlo con productos ya comercializados, para ver cuál podría ser su aplicación. Para ello vamos a realizar un estudio comparativo con diferentes materiales ya comercializados de diferentes casas comerciales, como son las placas de yeso laminado de Knauf, primeramente, y por otra parte, con el sistema constructivo de placas de yeso laminado de Pladur, ya que tienen una composición similar al nuestro.

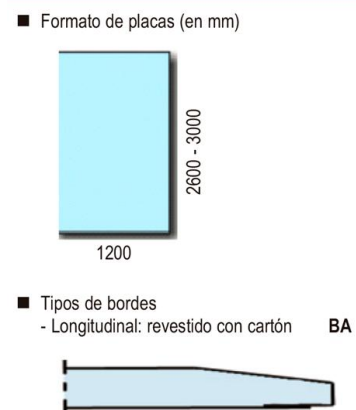
En primer lugar, por el alto contenido de yeso que tiene nuestro material (95% yeso + 5% pulpa de papel de periódico), es interesante la comparación con placas de yeso laminado, más concretamente, con la casa comercial Knauf y Pladur, para comprobar las ventajas e inconvenientes que el nuevo material presenta.

Antes que nada, es interesante comentar la composición de este material, para ver las semejanzas con el nuestro. Se trata de un material formado por un alma en base de yeso recubierta en ambos lados por capas de celulosa especiales.

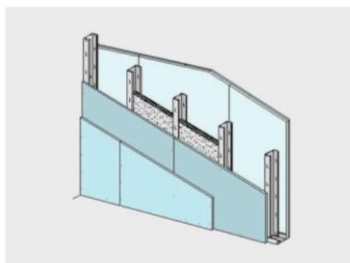
### 8.1. CASA COMERCIAL KNAUF

A la hora de comparar nuestro nuevo producto con el producto que proporciona la **casa comercial Knauf**, tenemos que tener en cuenta varios aspectos. En primer lugar, elegir el tipo de producto que elegimos dentro de esta casa comercial (ver completo en APÉNDICE B).

Después, al tratarse de yeso, necesitamos que su colocación sea en el interior de un edificio, como tabiquería de distribución o separación, o como falso techo.



[FIGURA 54]. CATALOGO KNAUF.



[FIGURA 54] ESQUEMA DE MONTAJE DEL SISTEMA CONSTRUCTIVO DE PLACAS DE YESO LAMINADO. CASA KNAUF. (fuente: [www.knauf.es](http://www.knauf.es)).



[FIGURA 55] IMAGEN DE LA PLACA DE YESO LAMINADO ELEGIDO PARA EL ESTUDIO COMPARATIVO. CASA KNAUF. (fuente: [www.knauf.es](http://www.knauf.es)).

Para comparar con este productor, solo nos centraremos en la placa de yeso, sin entrar en material del sistema constructivo que lo conforma.

#### -BALANCE MECÁNICO.

El siguiente aspecto a tener en cuenta, es saber el peso de cada uno de ellos por metro cuadrado y ver con ello las mejoras que se pueden proporcionar. Para poder compararlo, primero debemos saber el peso de nuestro material por metro cuadrado.

Como sabemos que nuestro producto tiene una densidad de  $1116.1 \text{ Kg/m}^3$ , y la dimensión de la placa de nuestro producto es  $2.6 \times 1.2 \times 0.0125$  metros ( $0.035 \text{ m}^3$ ), sabemos que el peso de una placa sería  $39 \text{ Kg}$ , y  $12.50 \text{ Kg/m}^2$ .

Viendo el peso que nos proporciona la casa comercial Knauf para sus placas de yeso, con un espesor igual al nuestro, de  $1.25 \text{ cm}$ , siendo este de  $11 \text{ Kg/m}^2$ , es este  $1.50 \text{ Kg/m}^2$  menos que nuestro producto.

Este dato es debido a los aditivos que las casas comerciales usan para bajar el peso de sus materiales, mezclándolos con el yeso en el proceso de elaboración del mismo. Por lo cual vamos a realizar un estudio comparativo de los pesos reales de cada uno de los materiales, como se muestra en la siguiente tabla:

MATERIAL	DIMENSIONES PLACA (mm)	PESO ( $\text{Kg/m}^2$ )	DENSIDAD ( $\text{Kg/m}^3$ )
PLACA DE YESO. CASA COMERCIAL KANAUF	12,5x1200x2600	11	860
PLACA DE YESO. CASA COMERCIAL KANAUF. SIN ADITIVOS	12,5x1200x2600	14,4	1206,9
PLACA DE YESO CON PULPA DE PAPEL DE PERIÓDICO	12,5x1200x2600	12,5	1116,1

[TABLA 17]. TABLA COMPARATIVA PESO/DENSIDAD ENTRE PLACAS DE YESO LAMINADO (CASA KNAUF), CON Y SIN ADITIVOS Y PLACAS DE NUESTRO MATERIAL.

Después de este estudio vemos que nuestro material pesaría menos que los que proporciona la casa comercial Knauf sin aditivos, los cuales son productos químicos contaminantes. En este momento nos encontramos ante dos posibles opciones:

Opción 1. Añadir aditivos a nuestro material para conseguir un peso menor en él y con ello una ventaja ante productos ya comercializados.

Opción 2. No añadir aditivos químicos, debido a que se trata de un compuesto contaminante y continuar con un peso mayor en nuestras placas, pero libre de sustancias perjudiciales.

Debido a todo el desarrollo de un material eco-eficiente, con aprovechamiento de residuos para bajar con ello el impacto ambiental, y mirar por el medio ambiente en todo momento, optamos por la opción 2, ya que es la que continúa dentro de la línea del medio ambiente, respetándolo y conservándolo.

#### -BALANCE ECONÓMICO

Por otra parte, el factor económico es importante cuando se habla de grandes cantidades, por ello haremos un balance de ambos productos.

El precio de una placa de yeso laminado para la casa comercial Knauf es de 3.80 €/m<sup>2</sup>, lo cual, por porcentajes de uso de yeso equivale a 3€/m<sup>2</sup> para nuestra placa, teniendo un descenso de 0.80 €/m<sup>2</sup>. Al llevarse este descenso de precio a grandes cantidades de uso del material equivaldría a una importante suma.

#### -OTROS ASPECTOS.

El aislamiento acústico de las placas a comparar, especiales en acústica, es de 48 dBA, frente a la absorción acústica de nuestro material, la cual hemos visto anteriormente que con frecuencias bajas tiene un absorción baja-media, para la clasificación que hacer la marca comercial Pladur. Los cual nos hace ver que la absorción de las placas de yeso es mejor que la nuestra.

Por último, no podemos realizar una comparación entre los resultados obtenidos en los ensayos mecánicos, ya que se han realizado siguiendo normas diferentes. Por una parte, las placas ya comercializadas siguen la norma UNE-EN 520, mientras que nuestras probetas siguieron la norma UNE-EN 1015.

Para compararlas tendríamos que realizar los mismos ensayos que se realizan para placas de yeso, tanto en tema mecánico, como en otros diversos aspectos, como son:

- UNE-EN 520 Placa de yeso laminado.
- UNE-EN 13950 Paneles compuestos para aislamiento térmico/acústico.
- UNE-EN 13915 Paneles transformados para tabiquería.
- UNE-EN 13501 Reacción al fuego.
- UNE-EN 102043 Montaje de los sistemas constructivos con placa de yeso laminado.

También habría que cumplir El Código Técnico de la Edificación, en los siguientes ámbitos:

- CTE-DB. SI. Protección contra el fuego.
- CTE-BD. HS. Salubridad
- CTE-DB. HE. Ahorro de energía
- CTE-DB. HR. Protección contra el ruido.

En la siguiente tabla se resumen diferentes aspectos a tener en cuenta en esta comparativa realizada entre las placas ya comercializadas y las nuestras:

MATERIAL	DIMENSIONES PLACA (mm)	PESO (Kg/m <sup>2</sup> )	DENSIDAD (Kg/m <sup>3</sup> )	RESISTENCIA A COMPRESIÓN (N/mm <sup>2</sup> )	RESISTENCIA A FLEXIÓN	PRECIO (€/m <sup>2</sup> )
PLACA DE YESO. CASA COMERCIAL KANAUF	12,5x1200x2600	11 (14,4 sin aditivos)	860 (1.206,9 sin aditivos)	3,5 (según DIN 1052)	560 Kg/m <sup>2</sup> (según UNE-EN 520)	3,8
PLACA DE YESO CON PULPA DE PAPEL DE PERIÓDICO	12,5x1200x2600	12,5	1116,1	7,78 (UNE-EN 1015)	2,55 N/mm <sup>2</sup> (según UNE-EN 1015)	3

[TABLA 18]. TABLA COMPARATIVA RESUMEN ENTRE PLACAS DE YESO LAMINADO (CASA KNAUF) Y PLACAS DE NUESTRO MATERIAL.

## 8.2. CASA COMERCIAL PLADUR

Por otra parte, podemos comprar nuestro material con la **casa comercial Pladur**, con una composición similar a la anterior, basada en una placa de yeso laminado entre dos capas de cartón, por lo que sus componentes son generalmente, yeso y celulosa, al igual que nuestro material.

El producto elegido dentro de la casa será (ver completo en APÉNDICE C).

### DIMENSIONES (MM)

ESPESOR	LARGO x ANCHO
12,5	2500x1200 / 2700x1200 / 3000x1200

### -BALANCE MECÁNICO

Como ya hemos visto antes, nuestro material tiene un peso de 12.50 Kg/m<sup>2</sup> para una placa de un espesor de 1.25 cm, muy parecido a lo que nos proporciona la casa comercial de Pladur para sus placas, siendo este peso de 12.40 Kg/m<sup>2</sup>, con tan solo una diferencia entre ambos de 0.10 Kg/m<sup>2</sup>, lo cual se puede considerar un aspecto neutro entre ambos materiales. Además de haber comentado anteriormente el aditivo que tienen añadido los yesos de las casas comerciales para reducir su peso, por lo que nuestro material, además de no contener sustancias químicas y contaminantes, presenta un material muy similar al comercializado por Pladur.

MATERIAL	DIMENSIONES PLACA (mm)	PESO (Kg/m <sup>2</sup> )	DENSIDAD (Kg/m <sup>3</sup> )
PLACA DE YESO. CASA COMERCIAL PLADUR	12,5x1200x2600	12,4	969,45
PLACA DE YESO CON PULPA DE PAPEL DE PERIÓDICO	12,5x1200x2600	12,5	1116,1

[TABLA 19]. TABLA COMPARATIVA PESO/DENSIDAD ENTRE PLACAS DE YESO LAMINADO (CASA PLADUR), CON Y SIN ADITIVOS Y PLACAS DE NUESTRO MATERIAL.

Al tratarse de dos productos muy parecidos tanto en composición como en peso, vemos interesante ver el cambio que proporciona nuestro material al incorporarse en el sistema constructivo de Pladur.

#### -BALANCE ECONÓMICO.

Las placas de Pladur, junto con todos los elementos necesarios para su construcción tiene un precio total de 13.94 €/m<sup>2</sup>, como se muestra en la siguiente imagen extraída del banco de precios de la casa comercial Pladur para una estructura simple sencilla, para tabiques, en Sevilla. (ver completo en APÉNDICE D).

CODIGO	MATERIAL	CANTIDAD POR m <sup>2</sup>	CANTIDAD TOTAL	UNIDAD	PRECIO UNIDAD	DTO. %	IMPORTE TOTAL OBRA
1102403	PLADUR® N 13 1.200x3.000	2,10	2,10	m <sup>2</sup>	3,83		8,04
1103476	MONTANTE 46 x3.000	3,50	3,50	m	0,96		3,36
1103315	CANAL 46 x3.000	0,95	0,95	m	0,84		0,80
2136840	PLADUR® JN (Secado Normal) x18kg	0,81	0,81	kg	0,94		0,76
7023152	PLADUR® PM 3,5x25	42,00	42,00	ud	0,007		0,29
7023146	PLADUR® MM 3,5x9,5	3,00	3,00	ud	0,013		0,04
7023018	CINTA DE JUNTAS x150m	3,15	3,15	m	0,03		0,09
7040987	CINTA GUARDAVIVOS PVC x30m	0,30	0,30	m	0,36		0,11
7023145	BANDA ESTANCA 46mm	1,72	1,72	m	0,26		0,45
	LANA MINERAL (espesor variable)	1,05	1,05	m <sup>2</sup>			

\* Los materiales sin código y sin precio son materiales no comercializados por Pladur®

[MEDICION 1]. MEDICIÓN EXTRAIDA DE LA CASA COMERCIAL PLADUR. (fuente: www.pladur.es)

El precio de una placa solo es de 3.83€/m<sup>2</sup>, siendo este precio mayor al de nuestras placas, ya que contamos con un precio redondo de 3€/m<sup>2</sup> de placa.

Para comparar el precio, utilizaremos los componentes de uso de esta casa comercial pero con nuestro producto, teniendo un precio del sistema de 12.15€/m<sup>2</sup> para el sistema total, lo cual ahora 0.83 €/m<sup>2</sup> por placa y 1.80 €/m<sup>2</sup> en total con todos los elementos.

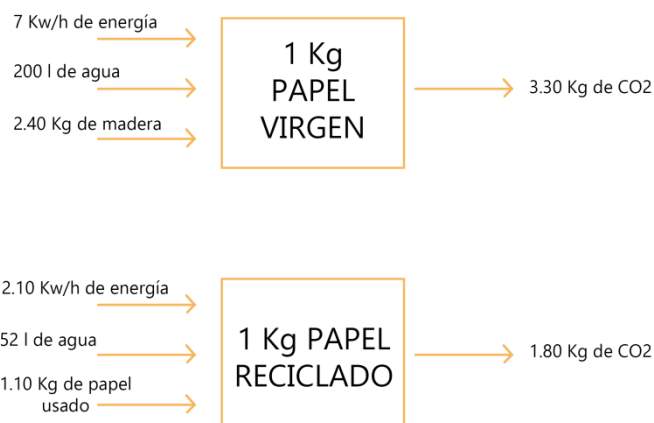
Por otra parte, se trata de una estructura autoportante, por lo que tiene que estar atornillada, es importante hacer ensayos para saber la resistencia de nuestras placas a la incidencia de los tornillo, o bien, hacer pruebas para otro tipo de sujeción.

MATERIAL	DIMENSIONES PLACA (mm)	PESO (Kg/m <sup>2</sup> )	DENSIDAD (Kg/m <sup>3</sup> )	RESISTENCIA A FLEXIÓN	PRECIO (€/m <sup>2</sup> placa)	PRECIO (€/m <sup>2</sup> sistema)
PLACA DE YESO. CASA COMERCIAL PLADUR	12,5x1200x2600	12,4	969,45	600 Kg/m <sup>2</sup> (UNE-EN 520)	3,83	13,94
PLACA DE YESO CON PULPA DE PAPEL DE PERIÓDICO	12,5x1200x2600	12,5	1116,1	2,55 N/mm <sup>2</sup> (UNE-EN 1015)	3	12,15

[TABLA 20]. TABLA COMPARATIVA RESUMEN ENTRE SISTEMA DE PLACAS DE YESO LAMINADO (CASA PLADUR) Y SISTEMA DE PLACAS DE NUESTRO MATERIAL.

### 8.3. BALANCE MEDIOAMBIENTAL

Como último, y en comparación para los dos productos señalados anteriormente, hay que hacer un análisis medioambiental.



[FIGURA 55] ESQUEMA DE PRODUCCIÓN EN DIFERENTES TIPOS DE PAPEL. (fuente: propia).

En el esquema vemos el ahorro que se produce al reciclar papel, siendo este un aspecto muy favorable a la hora de incluirlo en la producción de materiales de construcción, debido a la cantidad de papel que se produce y consume por persona.

También hay que tener en cuenta a la hora de hablar de la fabricación del papel virgen, las cantidades de dióxido de cloro que se añade a este para que se vuelva de color blanco, siendo esta sustancia parecida a la lejía industrial, muy tóxica que pregna el agua y esta se vuelve inservible para otro uso.

Para ver lo que se recicla de papel, debemos saber lo que se usa en el producto propuesto.

Sabemos que para las probetas realizadas en el estudio, las cuales tienen una capacidad de 300 g/probeta, añadíamos un 5% de pulpa de papel de periódico, lo que equivale a 15 g/probeta. Si extrapolamos este dato a las placas que se proponen en la comparación con otros productos comercializados, las cuales tienen un peso de 12.50 Kg/m<sup>2</sup>, obtenemos un total de pulpa de papel de periódico usado de 0.66 Kg/m<sup>2</sup>. Por cada placa de nuestro material, se recicla un total de 2.10 Kg.

	PESO (Kg)	RECICLADO	EQUIVALENCIA EN AGUA (l)	EQUIVALENCIA EN PAPEL VIRGEN (Kg)	EQUIVALENCIA EN MADERA (Kg)
m <sup>2</sup> de placa	12,5	0,625	32,5	0,687	1,64
UNIDAD PLACA	39	1,95	101	2,14	5,13

[TABLA 21]. CANTIDAD DE RECICLAJE Y EQUIVALENCIA DE MATERIAS BASES DE LA PRODUCCIÓN DE PAPEL VIRGEN.

Como **conclusiones** podemos decir:

- La principal conclusión de esta comparación es la reducción de agua, energía, madera, residuo, contaminación con sustancias aditivas al papel como el cloro, la no utilización de aditivos y disminución de emisiones de CO<sub>2</sub> en la fabricación de papel.
- Otra conclusión, en cuanto a peso es, que a pesar de no reducirlo, no usamos aditivos con base química que contaminan, para reducirlo. Y en el caso de las placas de la casa comercial de Pladur, nuestro material es escasamente más pesado que el suyo.
- Por tener un precio similar a la casa comercial Pladur, un aspecto importante es tener un uso semejante a él.
- Otro aspecto importante es la reducción económica que supone el uso de nuestro material, debido a que se pasa de 3.8€/m<sup>2</sup> de la casa Knauf y de 3.83€/m<sup>2</sup> de la casa Pladur a 3€/m<sup>2</sup> de nuestro producto.
- La absorción acústica no mejora respecto a los materiales comparados, pero no supone una desventaja en su aplicación, debido a que puede ser utilizado para un determinado uso, como por ejemplo viviendas, donde este factor no es tan fundamental como en otro tipo de edificios.

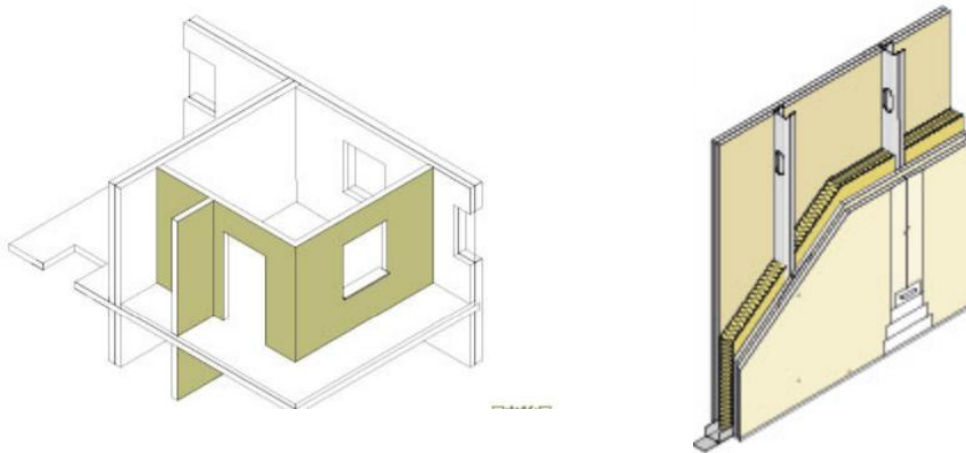
## 9. APLICACIÓN DEL PRODUCTO PROPUESTO A UN CASO PRÁCTICO

A la hora de comparar los materiales usados en una obra ya proyectada y ejecutada con nuestro material, y los comparados anteriormente, queremos hacerlo con un edificio de PB+2 compuesto por 21 viviendas construido en la ciudad de Sevilla (ver APÉNDICE E).

Este edificio está compuesto por una estructura bidireccional. El cerramiento se realiza por fábrica de ladrillo con trasdosado múltiple de yeso laminado (46+15+15), medianeras compuestas por tabiques trasdosados múltiples de placas de yeso laminado (15+15+120+15+15) y las particiones interiores de este edificio está compuesta por tabiques múltiples de yeso laminado (15+15+70+15+15). Estos elementos serán los principales a sustituir por nuestro material, viendo el aumento o descenso de precio y peso que ello supone. (ver APÉNDICE F)

### 9.1. TABIQUE MÚLTIPLE DE YESO LAMINADO (15+15+70+15+15)

Primero se busca la sustitución en este edificio de particiones interiores realizadas mediante placas de yeso laminada de la casa Knauf, por sistemas de placas de yeso con pulpa de papel de periódico más aislante.



[FIGURA 56] ESQUEMA DE SITUACIÓN DEL ELEMENTO A CAMBIAR (TABIQUE DE DISTRIBUCIÓN). (fuente: [www.PLADUR.es](http://www.PLADUR.es)).

[FIGURA 57] ESQUEMA DE MONTAJE DEL SISTEMA COMO TABIQUERÍA DE DISTRIBUCIÓN. (fuente: [www.PLADUR.es](http://www.PLADUR.es)).





[PLANO 1]. PLANTA BAJA CON INDICACIÓN DE TABIQUES MÚLTIPLES DE YESO LAMINADO  
(fuente: proyecto de ejecución)

## -BALANCE ECONÓMICO

Para ver el balance económico que supone la sustitución del material usado por el material a estudiar en esta investigación, empezamos haciendo un análisis de las mediciones usadas en el proyecto de ejecución de la esta obra.

Como resumen de medición (ver completo en APÉNDICE G).

### PRESUPUESTO Y MEDICIONES

CÓDIGO	RESUMEN	UDS	LONGITUD	ANCHURA	ALTURA	PARCIALES	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
<b>CAPITULO 06 ALBANILERÍA</b>									
<b>SUBCAPITULO 06D DIVISIONES</b>									
06DPC80420	m2 TABIQUE MÚLTIPLE PL. YESO LAMINADO 15+15+70+15+15 (130mm) Tabique múltiple con dos placas de yeso laminado de 15 mm de espesor por cada cara y espesor final de 130 mm, cubriendo la altura total de suelo a techo, atomillado a entramado de acero galvanizado con una separación de montantes de 60 cm, incluso nivelación, ejecución de ángulos, pasos de instalaciones y recibo de cajas, encintado y repaso de juntas; construido según especificaciones del fabricante de las placas. Medido deduciendo huecos. Divisiones interiores de viviendas						1.961,37	21,28	41.737,95

[MEDICIÓN 1]. EPÍGRAFE DE MEDICIONES SOBRE TABIQUE MÚLTIPLE DE YESO LAMINADO  
(fuente: proyecto de ejecución)

Vemos que la superficie a cubrir, entre todas las plantas del edificio, en cuanto a particiones interiores de las viviendas es de 1.961,37 m<sup>2</sup>.

Se trata de tabiques múltiples de yeso laminado, con un precio 21.28€/m<sup>2</sup>, por lo que el presupuesto final para esta partida es de 41.737,96€.

Al sustituir este producto por el nuestro, como necesitamos la colocación de dos placas de él por cada lado, para que los tabiques no pierdan la calidad con

la que cuentan con su producto actual, contamos con un precio de 18.15€/m<sup>2</sup>. Esto hace que tengamos un precio total de la partida con nuestro producto de 35.598,87€.

Es un dato muy favorable para nuestro producto, debido a que se llega a un descenso de precio de 6.139,09€ por la partida completa.

MATERIAL	SUPERFICIE A CUBIR (m <sup>2</sup> )	PRECIO (€/m <sup>2</sup> )	PRECIO (€/TOTAL)	DESCENSO DE PRECIO (€)
PLACA DE YESO USADA (CASA COMERCIAL KNAUF)	1.961,37	21,28	41.737,95	6.139,09
PLACA DE YESO CON PULPA DE PAPEL DE PERIÓDICO		18,15	35.598,87	

[TABLA 22]. TABLA COMPARATIVA ENTRE SISTEMA DE PLACAS DE YESO LAMINADO (CASA KANUF) Y SISTEMA DE PLACAS DE NUESTRO MATERIAL PARA UN USO DETERMINADO.

Si vemos lo que ocurre con los productos antes comparados con el nuestro, obtenemos lo siguiente:

MATERIAL	SUPERFICIE (m <sup>2</sup> )	PRECIO ACTUAL (€)	PRECIO (€/m <sup>2</sup> )	PRECIO TOTAL (€)	DIFERENCIA DE PRECIO (€)
Sistema Pladur	1.961,37	41.737,95	21,4	41.973,32	235,37 más caro
Sistema de placas de yeso y papel de periódico			18,15	35.598,87	6.139,08 más barato
Sistema usado actualmente (Sistema Knauf)			21,28	41.737,95	-

[TABLA 23]. TABLA COMPARATIVA DE PRECIOS ENTRE PRODUCTOS SIMILARES PARA UN USO DETERMINADO.

## -BALANCE MECÁNICO

Suponiendo que en el sistema constructivo lo único que se cambie sea la placa de yeso por placas de nuestro material, debido a que el proyecto cuenta con un sistema constructivo de la casa comercial Knauf, comparada anteriormente, vemos que con nuestro material, las cargas muertas aumentan un total de 2.942,055 Kg, una cifra muy elevada, debido a que el producto usado tiene aditivos que rebajan el peso 3.40 Kg/m<sup>2</sup>.

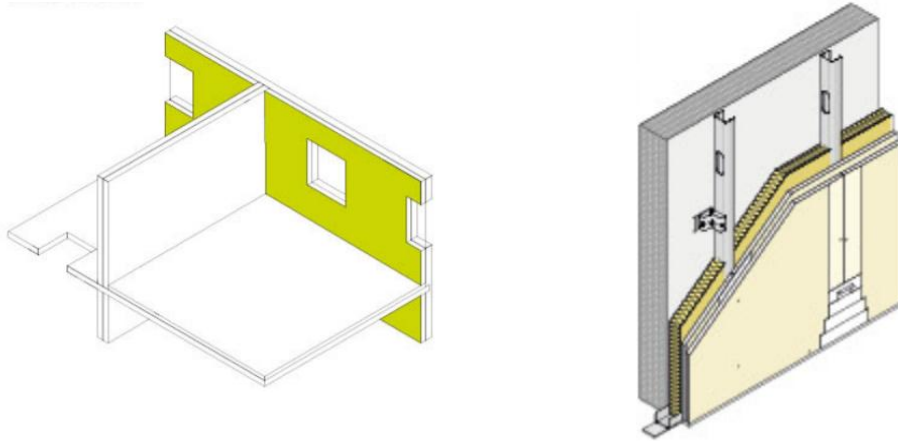
Si este producto no usara aditivos, nuestro producto sería 3.726,59 Kg menos pesado.

MATERIAL	SUPERFICIE (m <sup>2</sup> )	PESO (Kg/m <sup>2</sup> )	PESO TABIQUERIA (Kg)	DIFERENCIA DE PESO (Kg)
PLACA DE YESO. CASA COMERCIAL KANAUF	1.961,37	11	21.575,07 (peso actual)	-
PLACA DE YESO. CASA COMERCIAL KANAUF. SIN ADITIVOS		14,4	28.243,73	6.668,66 (más pesado)
PLACA DE YESO CON PULPA DE PAPEL DE PERIÓDICO		12,5	24.517,13	2.942,06 (más pesado)

[TABLA 24]. TABLA COMPARATIVA DE PESOS ENTRE PRODUCTOS SIMILARES PARA UN USO DETERMINADO.

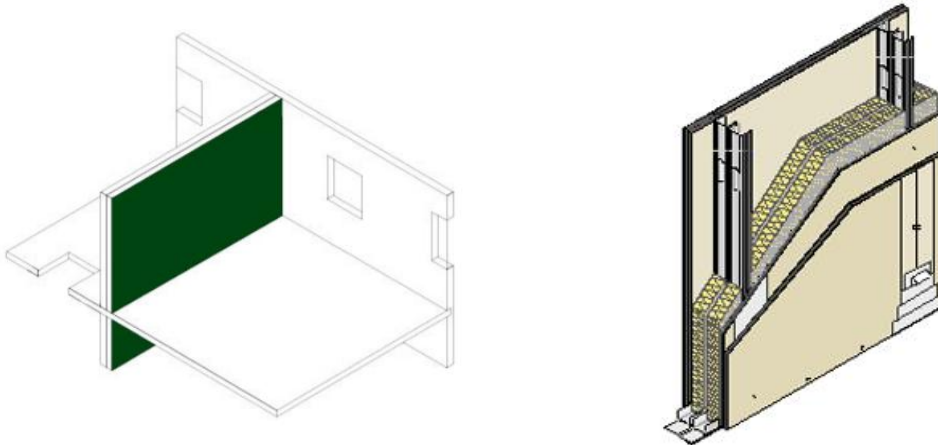
### 9.2. TRASDOSADO MÚLTIPLE DE YESO LAMINADO (46+15+15)

Por otra parte, este proyecto cuenta con placas de yeso múltiple laminado en el intradós del cerramiento exterior, tanto a la vía pública como al patio interior, y en las medianeras entre las viviendas del mismo edificio.



[FIGURA 58] ESQUEMA DE SITUACIÓN DEL ELEMENTO A CAMBIAR (TRASDOSADO). (fuente: [www.PLADUR.es](http://www.PLADUR.es)).

[FIGURA 59] ESQUEMA DE MONTAJE DEL SISTEMA COMO TRASDOSADO. (fuente: [www.PLADUR.es](http://www.PLADUR.es)).



[FIGURA 60] ESQUEMA DE SITUACIÓN DEL ELEMENTO A CAMBIAR (TABIQUE DE SEPARACIÓN). (fuente: [www.PLADUR.es](http://www.PLADUR.es)).

[FIGURA 61] ESQUEMA DE MONTAJE DEL SISTEMA COMO TABIQUERÍA DE SEPARACIÓN. (fuente: [www.PLADUR.es](http://www.PLADUR.es)).



[PLANO 2]. PLANTA BAJA CON INDICACIÓN DE TRASDOSADO MÚLTIPLES DE YESO LAMINADO (fuente: proyecto de ejecución).

## -BALANCE ECONÓMICO

En las mediciones del proyecto se cuenta como una misma partida la tabiquería de separación entre las viviendas y el trasdosado de fachada, por lo que lo haremos de forma conjunta también.

Continuamos haciendo el balance económico, con el resumen de mediciones de esta partida (ver completo en APÉNDICE H).

06DPC90415	m2	TRASDOSADO MÚLTIPLE PL. YESO LAMINADO 46+15+15 (78 mm)		
		Trasdosado múltiple con dos placas de yeso laminado de 15 mm de espesor por una carcara y espesor final de 78 mm, cubriendo la altura total de suelo a techo, atomillado a entramado de acero galvanizado con una separación de montantes de 60 cm, incluso nivelación, ejecución de ángulos, pasos de instalaciones y recibido de cajas, encintado y repaso de juntas; construido según especificaciones del fabricante de las placas. Medido deduciendo huecos.		
			3.323,46	20,44
				67.931,52

[MEDICIÓN 2]. EPÍGRAFE DE MEDICIONES SOBRE TRASDOSADO MÚLTIPLE DE YESO LAMINADO (fuente: proyecto de ejecución)

En primer lugar, vemos que la superficie a cubrir con el nuevo producto es de 3.323,46 m<sup>2</sup>, la cual se cubre con un trasdosado de múltiple de yeso laminado de la casa comercial Knauf, que como ya hemos explicado antes, es una de las casas comerciales con las que comparamos nuestro producto.

Este será sustituido por nuestro producto, el cual tiene un precio de 15.15€ al poner una placa más de yeso en el interior. Esto hace que el precio final de la partida con nuestro material sea un total de 50.350,50€.

Continúa siendo un dato muy favorable para nuestro producto, ya que supone un descenso en el precio de la partida completa de 17.581,02€.

MATERIAL	SUPERFICIE A CUBIR (m <sup>2</sup> )	PRECIO (€/m <sup>2</sup> )	PRECIO (€/TOTAL)	DESCENSO DE PRECIO (€)
PLACA DE YESO USADA (CASA COMERCIAL KNAUF)	3.323,46	20,44	67.931,52	17.581,10
PLACA DE YESO CON PULPA DE PAPEL DE PERIÓDICO		15,15	50.350,42	

[TABLA 25]. TABLA COMPARATIVA ENTRE SISTEMA DE PLACAS DE YESO LAMINADO (CASA KANUF) Y SISTEMA DE PLACAS DE NUESTRO MATERIAL PARA UN USO DETERMINADO.

Si vemos lo que ocurre con los productos antes comparados con el nuestro, obtenemos lo siguiente:

MATERIAL	SUPERFICIE (m <sup>2</sup> )	PRECIO ACTUAL (€)	PRECIO (€/m <sup>2</sup> )	PRECIO TOTAL (€)	DIFERENCIA DE PRECIO (€)
Sistema Pladur	3.323,46	67.931,52	21,4	71.122,04	9.190,52 más caro
Sistema de placas de yeso y papel de periódico			15,15	50.350,42	17.581,10 más barato
Sistema usado actualmente (Sistema Knauf)			20,44	67.931,52	-

[TABLA 26]. TABLA COMPARATIVA DE PESOS ENTRE PRODUCTOS SIMILARES PARA UN USO DETERMINADO.

## -BALANCE MECÁNICO

Al igual que anteriormente, como sabemos la diferencia de peso que presenta nuestro producto, respecto al producto utilizado en la obra a la que lo aplicamos, siendo esta de 1.50 Kg/m<sup>2</sup>, hace que el peso del edificio entero aumente de 36.558,06Kg a 41.543,25 Kg, con una diferencia entre ambas soluciones de 4.985,19 Kg.

Si este producto no usara aditivos, nuestro producto sería 6.314,57Kg menos pesado.

MATERIAL	SUPERFICIE (m <sup>2</sup> )	PESO (Kg/m <sup>2</sup> )	PESO TABIQUERIA (Kg)	DIFERENCIA DE PESO (Kg)
PLACA DE YESO. CASA COMERCIAL KANAUF	3.323,46	11	36.558,06 (peso actual)	-
PLACA DE YESO. CASA COMERCIAL KANAUF. SIN ADITIVOS		14,4	47.857,82	11.229,79 (más pesado)
PLACA DE YESO CON PULPA DE PAPEL DE PERIÓDICO		12,5	41.543,25	4.985,196 (más pesado)

[TABLA 27]. TABLA COMPARATIVA DE PESOS ENTRE PRODUCTOS SIMILARES PARA UN USO DETERMINADO.

### 9.3. BALANCE AMBIENTAL

Como hemos comentado anteriormente, por cada placa se utiliza un total de 1.95 Kg de papel de periódico, por lo que al pensar en lo que se utilizaría en el conjunto del caso práctico, sería:

Esto supone un total de 2.710,17 Kg, es decir, 2.70 toneladas de papel de periódico, lo que equivale a 36 árboles menos talados.

Como resumen del balance ambiental que supone la colocación de nuestro en un edificio existe:

	PESO (Kg)	Nº DE PLACAS	PAPEL DE PERIÓDICO/PLACA (Kg)	EQUIVALENCIA EN PAPEL VIRGEN (Kg)	EQUIVALENCIA EN MADERA (Kg)
TABIQUERÍA INTERIOR	24.517,13	1.961,37	1.005,83	916,53	382,33
TRASDOSADO	41.543,25	3.323,46	1.704,34	1.553,02	647,85

[TABLA 28]. CANTIDAD DE RECICLAJE Y EQUIVALENCIA DE MATERIAS BASES DE LA PRODUCCIÓN DE PAPEL VIRGEN

Como **conclusiones** cabe destacar:

- Disminución del coste del edificio de forma muy significativa.
- Aumento de peso a la hora de colocar el producto propuesto, debido a la inexistencia de aditivos químicos que rebajen este aspecto, siguiendo una línea de reciclaje e impacto ambiental muy clara.
- Reduciendo la cantidad de agua, energía, madera, arboles talados, contaminación que ello conlleva.



## 10. FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

Tras ver el resultado particular de la muestra del 5% de pulpa de papel de periódico + 95% de yeso, vemos apropiado continuar con ensayos que estudien el comportamiento atípico de esta muestra respecto a las otras. Posibles líneas de investigación serían:

-Realizar pruebas de diferentes dosificaciones de papel para optimizar el producto.

-Haber pruebas con diferentes granulometrías del corte del papel o diferentes tipos de papel para comprobar las diferencias obtenidas.

-Cabría la posibilidad de encontrar un aditivo no contaminante con el que poder mezclar nuestro producto para ver el comportamiento de este, y si ello conlleva a alguna mejora de sus características técnicas.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] Aguilar Rivera N (2004). **El reciclado de papel y cartón**. México: Universidad Veracruzana, Elementos 53.
- [2] Sagan C. (1994). **Un Punto azul pálido (A pale blue dot)**. Estados Unidos: Random House Publishing Group.
- [3] NORMA UNE-EN 13279-1. **Yeso de construcción y conglomerantes a base de yeso para la construcción**.
- [4] Ley 10/1998. Anejo 1. **Residuos**.
- [5] Ecoembes (2016). **Informe anual (15)**, recuperado de: <http://www.ecoembes.com/>
- [6] González Madaria F, Lloveras Macias J (2008). **Mezcla de residuos de polietireno expandido (EPS) con conglomerante yeso o escayola para uso en la construcción**. México: Informe de Construcción, volumen 60.
- [7] Alcón Calla S, Salcedo Quispe F, Gallardo Tapia V, Echazú Cortez J (2009). **Mortero de yeso reforzado con fibra reciclada de botellas PET para su aplicación como junta en mampostería de ladrillo**. Bolivia: Universidad de San Andrés-Instituto de Ensayo de Materiales.
- [8] Shermale Y, Balmukund Varma M (2015). **Papercrete: An Efficient use of wáter paper**. India: Recent Trends in civil Engineering & Tecnology, volumen 5.
- [9] Martínez Santa LJ (2015). **Vivienda y tecnología apropiadas: madera y celulosa de papel**. Colombia: Universidad Católica de Pereira. TFG
- [10] Cañola H, Echevarria C, Sánchez JC. (2011). **“Recipanel”: recycled paper panels**. Colombia: DYNA, Volumen 79, Nº 171.
- [11] Prieto Jimenez S, (2014). **Panel Prefabricado de hormigón aliviano a base de papel de periódico, destinado a viviendas de interés social**. Ecuador: Revista de la Universidad de Arquitectura y Urbanismo de Cuenca. Volumen 3, número 5.
- [12] Oliver-Ramírez A, García Santos A, Neila-González FJ. (2011). **Caracterización física y mecánica de placas de yeso con materiales de cambio de fase incorporados para almacenamiento de energía térmica mediante calor latente**. España: Universidad Politécnica de Madrid (UPM). Tesis doctoral.
- [13] del Río Merino M (Octubre, 2005), **Nuevas aplicaciones del corcho en el campo de la construcción**. III encuentro Eurocork, Huelva.

[14] de Villanueva L, Lasheras F, del Río M, Hernández-Olivares F, (1994), **Modelo Matemático del comportamiento Mecánico en Flexión del cartón-yeso**. España: Informes de la construcción, volumen 45.

[15] Vargas Robles LA, (2007), **Uso de fibras de papel de periódico, cal hidratada y alumbre, en la elaboración de un material compuesto**. México: Universidad de Colima. Tesis doctoral.

[16] Chanchí Golondrino JC, Bonilla Campos DF, Gaviria Rojas JA, Giraldo López JJ (2008), **Ensayos a compresión y tensión diagonal sobre muretes hechos a base de papel periódico reciclado y engrudo de almidón de yuca**. Colombia: Revista de Ingeniería de la Construcción, volumen 23.

[17] Flores N, Barbero M, Bustamante R (2017), **Filler de grafito reciclado de EDM en pasta de yeso**. España: Anales de Edificación, Volumen 3, Número 2.

[18] Gutiérrez González S (2012), **Yesos aligerados fabricados a partir de espumas de poliuretano y polvo de poliamida**. España: Tesis doctoral, Universidad de Burgos. Tesis doctoral.

[19] Ardanuy M, Claramunt J, Dias Toledo Filho R. (2015). **Composites basados en cemento reforzados con fibra de celulosa** (Cellulosic fiber reinforced cement-based composites). Construction and Building Materials nº79.

[20] Mejía Ballesteros JE, Santos SF, Mármol G, Savastano H, Fiorelli J (2015). **Evaluación de pulpa de celulosa tratada mediante hornificación como refuerzo de composites cementosos**. (Evaluation of cellulosic pulps treated by hornification as reinforcement of cementitious composites). Construction and Building Materials nº 100.

[21] Czaderna A, Kocemba A, Kozanecki M, Mucha M, Mróz P. (2018). **Influencia de los derivados de celulosa en la estructura del agua del yeso**. (The influence of cellulose derivatives on water structure in gypsum). Construction and Building Materials nº160.

[22] Hernández K. (2014). Método de tratamiento para aguas contaminadas” Venezuela: Universidad Católica Andrés Bello. TFM

## APÉNDICE A. TUBO DE KUNDT

La medición del coeficiente de la absorción acústica mediante el Tubo de Kundt, según la norma UNE-EN ISO 10534-1.

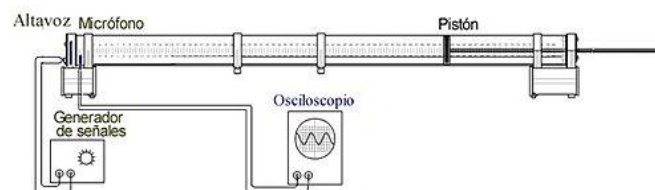
Según esta norma, y para el entendimiento de este ensayo, es imprescindible la definición de absorción acústica, la cual se refiere como “coeficiente entre la energía acústica absorbida por la superficie de la muestra de ensayo (sin retorno) y la energía acústica incidente, para una onda plana con incidencia normal”.

Se trata de un tubo de onda estacionaria lleno de aire que se encuentra abierto por un extremo donde se coloca una muestra de aproximadamente 10 cm de diámetro y 2 cm de espesor con un cierre de soporte rígido. Por el otro lado se encuentra un altavoz que es atravesador por una sonda que conecta el tubo con un micrófono que emite una determinada frecuencia. Este micrófono está conectado directamente a un analizador en el cual se indica la frecuencia que emitirá el micrófono y los dB $\mu$ V, además de buscar en él la máxima y la mínima frecuencia de la línea, midiendo el equivalente en voltaje, mediante el movimiento del micrófono.

Se exploran varias frecuencias debido a que a diferentes frecuencias el material se comporta de forma distinta, utilizando en este caso 250 Hz, 500 Hz, 1000 Hz y 2000 Hz. Por otra parte usaremos en todos los caso una potencia de 132 dB $\mu$ V.

El proceso para todas las probetas es el mismo, empezando por colocar la muestra en el extremo abierto, con dimensiones de 9.50 cm de diámetro y 2 cm de espesor (es aconsejable que el diámetro de la probeta sea inferior a el diámetro de molde, para no tener problema a la hora de encajarlo y poder rellenar la zona sobrante entre la muestra y el molde con plastilina, para conseguir que esta se quede totalmente sujeta).

A continuación, con la fuente y el analizador encendido, se prueba con las diferentes frecuencias dadas antes y se busca la máxima y la mínima frecuencia en la línea, midiendo el equivalente en voltaje.



[FIGURA 1] ESQUEMA DE LA INSTRUMENTALIZACIÓN DEL ENSAYO ACÚSTICO (fuente: [www. Google.es](http://www.Google.es))

El principal objeto de este ensayo es la determinación del coeficiente de absorción acústica bajo incidencia normal, además de determinar la impedancia o admitancia acústica en la superficie de materiales absorbentes acústicos.

El ensayo se instrumentaliza mediante un tubo de impedancia, de forma recta, sección constante, paredes rígidas, lisas y no porosas. Un portamuestras, sonda microfónica con un dispositivo que permita desplazar la muestra y posicionarla. Será necesario de unidades de tratamiento de señales par las señales del micrófono. Y un altavoz y un generador de señales senoidales, como se muestra en la siguiente figura:

Los principios fundamentales de este ensayo son la única existencia de ondas planas incidentes y reflejadas que se propagan paralelamente al eje del tubo en la sección de ensayo de este, además de suponer que las ondas acústicas se propagan en el tubo sin atenuación.

La onda acústica senoidal incidente se produce por un altavoz situado en el otro extremo del tubo (la superposición de la onda incidente y de la onda reflejada produce un sistema de ondas estacionarias en el tubo).

Mediante las magnitudes medidas de los niveles de presión acústica, en este proceso, en los mínimos y máximos de presión, se obtiene el coeficiente de absorción acústica.



[FIGURA 37] DIFERENTES MUESTRAS ANTES DEL ENSAYO DE ABSORCIÓN ACÚSTICA (fuente: propia).

[FIGURA 38] COLOCACIÓN DE LA MUESTRA EN EL PORTAMUESTRAS CON EL TAPONAMIENTO CON PLASTILINA (fuente: propia).

[FIGURA 39] ANALIZADOR DEL TUBO DE KUNDT (fuente: propia).

[FIGURA 40] MICRÓFONO MÓVIL (fuente: propia).

Los resultados obtenidos no son absolutos, sino referidos a una situación particular.

## APENDICE B. FICHA TÉCNICA CASA KNAUF

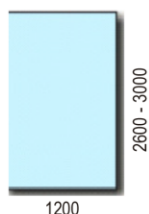
### K713P.es Knauf Alta Dureza

Placa acústica para sistemas de construcción en seco



#### Datos técnicos

##### Formato de placas (en mm)



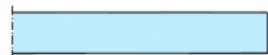
##### Tipos de bordes

- Longitudinal: revestido con cartón **BA**



##### Tipos de bordes

- Transversal: sin cartón **BC**



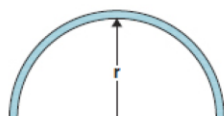
##### Tolerancias

- Ancho: +0 / -4 mm
- Longitud: +0 / -5 mm
- Espesor:
  - Placa 12,5: +0,5 / -0,5 mm
  - Ortogonalidad: ≤2,5 mm / m

##### Radios de curvatura mínimo

###### Placa 12,5 mm.

- Seco:  $r \geq 2750$  mm
- Húmedo:  $r \geq 1000$  mm



Placa tipo	DI	UNE EN 520
Reacción al fuego UNE EN 13501-1	A2-s1,d0 (B)	UNE EN 520
Factor de resistencia al vapor de agua $\mu$		UNE EN ISO 10456
<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Seco</li> <li>■ Húmedo</li> </ul>	10 4	
Conductividad térmica $\lambda$	W/(m.K)	0,25
		UNE EN ISO 10456
Hinchamiento y retracción		
<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Por <math>c / 1\%</math> de variación de H rel. A:</li> <li>■ Por <math>^{\circ}\text{K}</math> de variación de temperatura</li> </ul>	mm/m	0,005 - 0,008 0,013 - 0,02
<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Absorción de agua (superficial)</li> <li>■ Absorción de agua (total)</li> </ul>	$\text{g/m}^2$ %	≤ 180 > 30
Secado (después de 2 hs. de inmersión)	hs.	72
Absorción capilar después de un tiempo de inmersión:		
<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Después de 24 hs.</li> <li>■ Después de 20 días</li> </ul>	mm.	210 mm. 380 mm.
Densidad	$\text{kg/m}^3$	≥ 860
Calor específico	J/(kg.°K)	1000
Dureza superficial (huella)	mm	< 15
Permeabilidad al aire	$\text{m}^3/(\text{m}^2.\text{s.Pa})$	$1,4 \times 10^{-6}$
Dilatación térmica	$1/^{\circ}\text{C}$	$5 \times 10^{-6}$
Medidas:		
<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Espesores.</li> <li>■ Anchura.</li> <li>■ Longitud</li> </ul>	mm	12,5, 15 1200 2600, 3000
Peso aprox.:		
<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Placa de 12,5 mm.</li> </ul>	$\text{kg/m}^2$	11,0
Resist. característica a compresión $f_{c,90,K}$ (de la propia placa)	$\text{N/mm}^2$	≥ 3,5
		DIN 1052
Módulo medio de elasticidad $E_{med}$ (de la propia placa)		
<ul style="list-style-type: none"> <li>■ longitudinal:</li> <li>■ transversal:</li> </ul>	$\text{N/mm}^2$ $\text{N/mm}^2$	4000 3200
Temperatura máxima de uso	$^{\circ}\text{C}$	≤ 50 (puntualmente hasta 60)
Carga de rotura a flexión (N) UNE EN 520 ( $\text{kg/m}^2$ )		
Placa tipo	12,5 mm	15 mm
<ul style="list-style-type: none"> <li>■ longitudinal:</li> <li>■ transversal:</li> </ul>	≥ 560 ≥ 210	≥ 650 ≥ 250

Las placas de Yeso Laminado, al absorber agua, aumentan su peso. Con un aumento del 10% de su peso, experimentan una pérdida del 70% de su resistencia.

Esta placa no tiene tratamiento hidrófugo. En contacto con el agua, tarda aprox. 2 hs., para llegar a un aumento de su peso del 10%.

#### Knauf

Atención al cliente:  
- Tel.: 902 440 460  
- Fax.: 91.766 13 35

www.Knauf.es

Código: xxxxxxxxxx  
Edición: 08/2016

Knauf GmbH España, Av. de Manoteras, 10 - edificio C - 28050 Madrid

El coste de la llamada es de 0,0887 €/min. durante el primer minuto y 0,0688 €/min. los restantes, llamando desde un teléfono fijo desde España. Las llamadas desde un móvil o internacionales, son las fijadas por el operador.

Todos los derechos reservados. Prohibida la reproducción total o parcial, sin la autorización de Knauf GmbH España. Garantizamos la calidad de nuestros productos. Los datos técnicos, físicos y demás propiedades consignados en esta hoja técnica, son el resultado de nuestra experiencia utilizando sistemas Knauf y todos sus componentes que conforman un sistema integral. Los datos de consumo, cantidades y forma de trabajo, provienen de nuestra experiencia en el montaje, pero se encuentran sujetos a variaciones, que puedan provenir debido a diferentes técnicas de montaje, etc. Por la dificultad que entraña, no ha sido posible tener en cuenta todas las normas de la edificación, reglas, decretos y demás escritos que pudieran afectar al sistema. Estas normas de utilización, deben ser tenidas en cuenta por quienes harán uso del mismo. Cualquier cambio en las condiciones de montaje, utilización de otro tipo de material o variación con relación a las condiciones bajo las cuales ha sido ensayado el sistema, puede alterar su comportamiento y en este caso, Knauf no se hace responsable del resultado de las consecuencias del mismo.

Los detalles constructivos, así como los datos físicos, estáticos y propiedades de nuestros sistemas, se pueden garantizar solamente utilizando productos comercializados o recomendados por Knauf GmbH.



## APENDICE C. FICHA TÉCNICA CASA PLADUR



Ficha de Producto  
Pladur®

pág  
1

### PLADUR® FONIC

01a07001ES - Rev. 04/2017



#### DESCRIPCIÓN

Placa de yeso laminado. Está formada por un **alma de yeso 100% natural**, recubierta en sus dos caras por una lámina de celulosa y tratada especialmente para dotarla de mayores prestaciones en aislamiento acústico.

#### CAMPO DE APLICACIÓN

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

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

#### DATOS TÉCNICOS

PROPIEDAD	VALORES
Color	Cara - Azul Dorso - Marrón (kraft)
Borde longitudinal Borde transversal	BA (Afinado) BCT (Cortado)
Espesor (mm)	12,5
Peso (kg/m <sup>2</sup> ) aprox.	12,4
Resistencia a la flexión (N)	Longitudinal >600
	Transversal >210
Conductividad térmica (λ) (W/mK)	0,15
Resistencia térmica (m <sup>2</sup> K/W)	0,08
Dilatación lineal (m/m °C)	15x10 <sup>-6</sup>
Dureza superficial (huella) (mm)	Ø≤15
Permeabilidad al aire [m <sup>3</sup> / (m <sup>2</sup> .s.Pa)]	1,4x10 <sup>-6</sup>
Permeabilidad al vapor de agua (factor de resistencia)	6,7
Ganancia acústica (dB)	3(*)
Reacción al fuego	A2 s1 d0
Normativa aplicable / certificación	EN-520 
Clasificación (según EN-520)	A

(\*) Ensayo en sistema 72/48 LV. Diferencias obtenidas entre el uso de la placa PLADUR® Fonic y la placa PLADUR® N.

#### DIMENSIONES (MM)

ESPESOR	LARGO x ANCHO
12,5	2500x1200 / 2700x1200 / 3000x1200

#### Tolerancias (según EN-520)

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

#### PRESENTACIÓN

##### Marcado de placa y palet

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



#### Embalaje

ESPESOR	UDS / LOTE	OTROS
12,5	28 o 32 <sup>(1)</sup>	Los lotes apoyan sobre calas de lino. La cantidad de calas varía según el espesor y las dimensiones de las placas.

<sup>(1)</sup> 3000x1200: 28 uds/lotte

#### INSTALACIÓN

- Se debe respetar en todo momento la normativa vigente aplicable en el territorio en el que se realice la instalación.
- Atendemos a las consultas sobre instalación y ofrecemos soporte técnico a través de nuestro teléfono de Atención al Cliente y Asistencia Técnica **+34 902 023 323** y en la dirección de correo electrónico **consultas@pladur.com**.

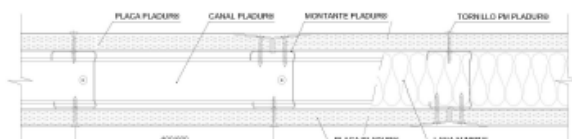
## APÉNDICE D. BANCO DE PRECIOS DE PLADUR

## DOCUMENTO DE PRESUPUESTO PLADUR®



## TABIQUE PLADUR® 72/400 (46) 2N MW

Madrid a 2 de Julio de 2018



Características Técnicas	Sistema Seleccionado
Altura:	2,80
Resistencia al Fuego:	S/E
Aislamiento Acústico:	39,5

## DEFINICION DEL SISTEMA

TARIFA PLADUR®: España (Sevilla)

Tabique formado por una placa PLADUR® tipo N de 13 mm de espesor, a cada lado de una estructura de acero galvanizado de 46 mm de ancho, a base de Montantes PLADUR® (elementos verticales), separados entre ejes 400 mm y Canales PLADUR® (elementos horizontales), dando un ancho total de tabique terminado de 72 mm. Parte proporcional de materiales PLADUR®: tornillería, pastas, cintas de juntas, juntas estancas /acústicas de su perímetro, etc. así como anclajes para canales en suelo y techo, totalmente terminado con calidad de terminación Nivel 1 (Q1) para terminaciones de alicatado, laminados, con rastreles, etc. o calidad de terminación Nivel 2 (Q2) para terminaciones estándar de pintura o papel pintado normal (a definir en proyecto). Alma con lana mineral de 40 a 50 mm de espesor. Montaje según norma UNE 102043 y requisitos del CTE-DB HR.

## RENDIMIENTO DE MATERIALES

CODIGO	MATERIAL	CANTIDAD POR m <sup>2</sup>	CANTIDAD TOTAL	UNIDAD	PRECIO UNIDAD	DTO. %	IMPORTE TOTAL OBRA
1102403	PLADUR® N 13 1.200x3.000	2,10	2,10	m <sup>2</sup>	3,83		8,04
1103476	MONTANTE 46 x3.000	3,50	3,50	M	0,96		3,36
1103315	CANAL 48 x3.000	0,95	0,95	M	0,84		0,80
2136840	PLADUR® JN (Secado Normal) x18kg	0,81	0,81	kg	0,94		0,76
7023152	PLADUR® PM 3.5x25	42,00	42,00	ud	0,01		0,29
7023146	PLADUR® MM 3,5x9,5	3,00	3,00	ud	0,01		0,04
7023018	CINTA DE JUNTAS x150m	3,15	3,15	M	0,03		0,09
7040987	CINTA GUARDAVIVOS PVC x30m	0,30	0,30	M	0,36		0,11
7023145	BANDA ESTANCA 46mm	1,72	1,72	M	0,26		0,45
*	LANA MINERAL (espesor variable)	1,05	1,05	m <sup>2</sup>			

\* Los materiales sin código y sin precio son materiales no comercializados por Pladur®

COSTE DEL SISTEMA €/m<sup>2</sup>

Coste Materiales Pladur®	13,94 €/m <sup>2</sup>	Otros Costes	0 €/m <sup>2</sup>
Mano de Obra:	0 €/m <sup>2</sup>		0 €/m <sup>2</sup>
			0 €/m <sup>2</sup>
<b>Total Precio del Sistema</b>			<b>13,94 €/m<sup>2</sup></b>

## PRESUPUESTO DEL SISTEMA EN LA OBRA

Volumen de la Obra / Total M <sup>2</sup>	1 m <sup>2</sup>	<b>Importe Total del Sistema en Obra</b>	<b>13,94 €</b>
---	------------------	--	----------------

Este presupuesto se ha realizado con la Tarifa Península Ibérica, precios "España (Sevilla)" vigentes en el día de creación de este documento. Datos válidos salvo error tipográfico o de transcripción. La utilización de materiales ajenos a los Sistemas PLADUR®, deja sin efecto la validez de los datos técnicos proporcionados y por extensión, anula la garantía sobre estos Sistemas PLADUR®. Quedan reservados todos los derechos, incluida la incorporación de mejoras y modificaciones. PLADUR® es una marca registrada en favor de Yesos Ibéricos, S. A. del Grupo URALITA.



APÉNDICE E. PROYECTO 20 VIVIENDAS CON GARAJE (SEVILLA)



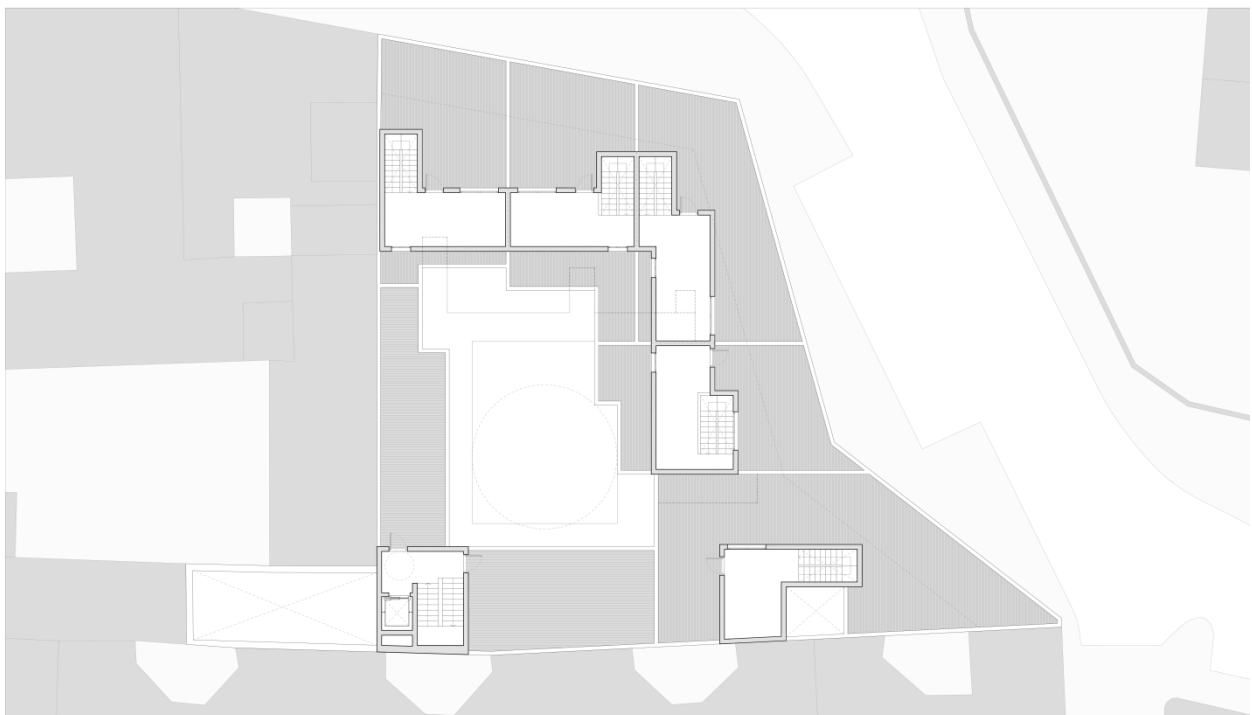
PLANTA BAJA



PLANTA PRIMERA



PLANTA SEGUNDA



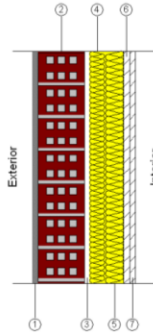
PLANTA CASTILLETES

## APÉNDICE F. SECCIONES CONSTRUCTIVAS

### Fachada revestida con mortero monocapa, de hoja de fábrica, con trasdosado autoportante

Superficie total 1036.62 m<sup>2</sup>

Fachada revestida con mortero monocapa, de hoja de fábrica, con trasdosado autoportante, compuesta de: REVESTIMIENTO EXTERIOR: revestimiento con mortero monocapa, acabado con árido proyectado, color blanco, espesor 15 mm, aplicado manualmente; HOJA PRINCIPAL: hoja de 12 cm de espesor de fábrica, de ladrillo cerámico perforado para revestir, recibida con mortero de cemento industrial, color gris, M-5, suministrado a granel; AISLAMIENTO ENTRE PLACAS: aislamiento formado por panel autoportante de lana mineral de alta densidad, de 40 mm de espesor; AISLAMIENTO ENTRE MONTANTES: aislamiento formado por panel de lana de vidrio, de 45 mm de espesor; TRASDOSADO: trasdosado autoportante libre, sistema Placo Prima Plus "PLACO", realizado con dos placas de yeso laminado A, BA 15 "PLACO", atornilladas directamente a una estructura autoportante de perfiles metálicos formada por canales R 48 "PLACO" y montantes M 48 "PLACO", y un espesor total de 78 mm; ACABADO INTERIOR: Pintura plástica con textura lisa, color blanco, acabado mate, mano de fondo y dos manos de acabado.



## Listado de capas:

1 - Mortero monocapa	1.5 cm
2 - Fábrica de ladrillo cerámico perforado	12 cm
3 - Separación	1.3 cm
4 - Complejo multicapa	4 cm
5 - Lana mineral	4.8 cm
6 - Placa de yeso laminado	1.5 cm
7 - Placa de yeso laminado	1.5 cm
8 - Pintura plástica	---
<b>Espesor total:</b>	<b>26.6 cm</b>

Limitación de demanda energética  $U_m$ : 0.31 W/(m<sup>2</sup>·K)

Protección frente al ruido

Masa superficial: 167.36 kg/m<sup>2</sup>Masa superficial del elemento base: 141.90 kg/m<sup>2</sup>Caracterización acústica por ensayo,  $R_w(C; C_{tr})$ : 43.1(-1; -3) dB

Referencia del ensayo: No disponible. Los valores se han estimado mediante la ley de masas.

Mejora del índice global de reducción acústica del revestimiento, DR: 13 dBA

Protección frente a la humedad

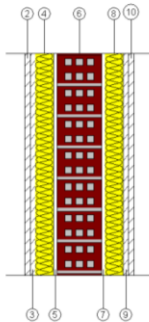
Grado de impermeabilidad alcanzado: 4

Condiciones que cumple: R1+B2+C1+H1+J2

### Tabique de una hoja con trasdosado en ambas caras

Superficie total 490.99 m<sup>2</sup>

Tabique de una hoja con trasdosado en ambas caras, compuesto de: TRASDOSADO A LA IZQUIERDA: trasdosado autoportante libre, W 626 "KNAUF" realizado con dos placas de yeso laminado - [15 Standard (A) + 15 Standard (A)], anclada a los forjados mediante estructura formada por canales y montantes; 78 mm de espesor total; AISLAMIENTO ENTRE MONTANTES: aislamiento formado por panel de lana de vidrio, de 65 mm de espesor; HOJA PRINCIPAL: hoja de 12 cm de espesor de fábrica, de ladrillo cerámico perforado para revestir, recibida con mortero de cemento industrial, color gris, M-5, suministrado a granel; AISLAMIENTO ENTRE MONTANTES: aislamiento formado por panel de lana de vidrio, de 45 mm de espesor; TRASDOSADO A LA DERECHA: trasdosado autoportante libre, W 626 "KNAUF" realizado con dos placas de yeso laminado - [15 Standard (A) + 15 Standard (A)], anclada a los forjados mediante estructura formada por canales y montantes; 78 mm de espesor total.



## Listado de capas:

1 - Pintura plástica	---
2 - Placa de yeso laminado	1.5 cm
3 - Placa de yeso laminado	1.5 cm
4 - Lana mineral	4.8 cm
5 - Separación	1 cm
6 - Fábrica de ladrillo cerámico perforado	12 cm
7 - Separación	1 cm
8 - Lana mineral	4.8 cm
9 - Placa de yeso laminado	1.5 cm
10 - Placa de yeso laminado	1.5 cm
11 - Pintura plástica	---
<b>Espesor total:</b>	<b>29.6 cm</b>

Limitación de demanda energética  $U_m$ : 0.27 W/(m<sup>2</sup>·K)

Protección frente al ruido

Masa superficial: 175.74 kg/m<sup>2</sup>Masa superficial del elemento base: 122.40 kg/m<sup>2</sup>Caracterización acústica por ensayo,  $R_w(C; C_{tr})$ : 40.5(-1; -3) dB

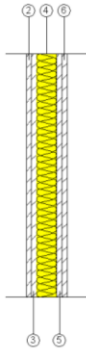
Referencia del ensayo: No disponible. Los valores se han estimado mediante leyes de masa obtenidas extrapolando el catálogo de elementos constructivos.

Mejora del índice global de reducción acústica del revestimiento, DR: 22.5 dBA

Seguridad en caso de incendio

Resistencia al fuego: EI 240

Partición interior de entramado autoportante de placas de yeso laminado y lana mineral, con tabique múltiple, sistema tabique PYL 98/600(48) LM, catálogo ATEDY-AFELMA, de 98 mm de espesor total, compuesta por una estructura autoportante de perfiles metálicos formada por montantes y canales; a cada lado de la cual se atornillan dos placas de yeso laminado A, Standard "KNAUF" y aislamiento de panel de lana de vidrio, Ursa Glasswool P0081 Panel Acustic En Rollo "URSA IBÉRICA AISLANTES", de 45 mm de espesor.



## Listado de capas:

1 - Pintura plástica	---
2 - Placa de yeso laminado Standard (A) "KNAUF"	1.25 cm
3 - Placa de yeso laminado Standard (A) "KNAUF"	1.25 cm
4 - Lana de vidrio Ursa Glasswool P0081 Panel Acustic En Rollo "URSA IBÉRICA AISLANTES"	5 cm
5 - Placa de yeso laminado Standard (A) "KNAUF"	1.25 cm
6 - Placa de yeso laminado Standard (A) "KNAUF"	1.25 cm
7 - Pintura plástica	---
Espesor total:	10 cm

Limitación de demanda energética  $U_m$ : 0.54 W/(m<sup>2</sup>·K)

Protección frente al ruido Masa superficial: 43.24 kg/m<sup>2</sup>

Caracterización acústica por ensayo,  $R_w(C; C_{tr})$ : 54.0(-3; -8) dB

Referencia del ensayo: CTA-087/08 AER

Seguridad en caso de incendio Resistencia al fuego: EI 60

## APÉNDICE G. MEDICIONES

## PRESUPUESTO Y MEDICIONES

CÓDIGO	RESUMEN	UDS	LONGITUD	ANCHURA	ALTURA	PARCIALES	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
<b>CAPITULO 06 ALBAÑILERÍA</b>									
<b>SUBCAPÍTULO 06D DIVISIONES</b>									
06DPC80420	m2 TABIQUE MÚLTIPLE PL. YESO LAMINADO 15+15+70+15+15 (130mm)								
	Tabique múltiple con dos placas de yeso laminado de 15 mm de espesor por cada cara y espesor final de 130 mm, cubriendo la altura total de suelo a techo, atornillado a entramado de acero galvanizado con una separación de montantes de 60 cm, incluso nivelación, ejecución de ángulos, pasos de instalaciones y recibo de cajas, encintado y repaso de juntas; construido según especificaciones del fabricante de las placas. Medido deduciendo huecos.								
	Divisiones interiores de viviendas								
	Planta baja								
	Divisiones vivienda A	1	5,83		3,03		17,66		
		1	0,67		3,03		2,03		
		1	1,70		3,03		5,15		
		1	0,72		3,03		2,18		
		1	5,01		3,03		15,18		
		1	3,69		3,03		11,18		
		1	3,90		3,03		11,82		
		1		1,80	3,03		5,45		
		1		0,55	3,03		1,67		
		1		1,70	3,03		5,15		
		1		6,98	3,03		21,15		
		1		4,21	3,03		12,76		
		1		1,70	3,03		5,15		
		1		3,26	3,03		9,88		
		1		1,80	3,03		5,45		
		1		3,84	3,03		11,64		
		1		2,11	3,03		6,39		
	Divisiones vivienda B	1	0,60		3,03		1,82		
		1	3,86		3,00		11,58		
		1	1,80		3,03		5,45		
		1	5,21		3,03		15,79		
		1	2,69		3,03		8,15		
		1	1,90		3,03		5,76		
		1	0,35		3,03		1,06		
		1	6,00		3,03		18,18		
		1		4,57	3,03		13,85		
		1		3,61	3,03		10,94		
		1		0,60	3,03		1,82		
		1		1,80	3,03		5,45		
		1		2,50	3,03		7,58		
		1		0,40	3,03		1,21		
		1		0,60	3,03		1,82		
		1		0,35	3,03		1,06		
	Divisiones Vivienda C	1	1,80		3,03		5,45		
		1	1,80		3,03		5,45		
		1	1,90		3,03		5,76		
		1	2,90		3,03		8,79		
		1	4,70		3,03		14,24		
		1	1,80		3,03		5,45		
		1	1,20		3,03		3,64		
		1	0,55		3,03		1,67		
		1	1,80		3,03		5,45		
		1		1,07	3,03		3,24		
		1		3,20	3,03		9,70		
		1		0,70	3,03		2,12		
		1		2,97	3,03		9,00		
		1		5,72	3,03		17,33		
		1		4,57	3,03		13,85		
	Divisiones vivienda D	1	1,75		3,03		5,30		
		1	1,80		3,03		5,45		
		1	1,70		3,03		5,15		
		1	1,50		3,03		4,55		

## PRESUPUESTO Y MEDICIONES

CÓDIGO	RESUMEN	UDS	LONGITUD	ANCHURA	ALTURA	PARCIALES	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
		1	1,75			3,03			5,30
		1	1,80			3,03			5,45
		1	4,60			3,03			13,94
		1	1,80			3,03			5,45
		1			4,77	3,03			14,45
		1			9,95	3,03			30,15
		1			3,80	3,03			11,51
		1			0,79	3,03			2,39
	Divisiones vivienda E	1	2,27			3,03			6,88
		1	3,42			3,03			10,36
		1	3,40			3,03			10,30
		1			2,40	3,03			7,27
		1			0,70	3,03			2,12
	Divisiones vivienda F	1	5,60			3,03			16,97
		1	2,50			3,03			7,58
		1	0,60			3,30			1,98
		1			2,12	3,03			6,42
		1			3,78	3,03			11,45
		1			4,94	3,03			14,97
	Planta Primera								
	Divisiones vivienda A	1	4,06			3,00			12,18
		1	1,74			3,00			5,22
		1	1,79			3,00			5,37
		1	2,01			3,00			6,03
		1	2,50			3,00			7,50
		1	3,49			3,00			10,47
		1	6,91			3,00			20,73
		1	2,85			3,00			8,55
		1			3,57	3,00			10,71
		1			0,60	3,00			1,80
		1			3,57	3,00			10,71
		1			2,60	3,00			7,80
		1			0,60	3,00			1,80
		1			2,80	3,00			8,40
		1			2,90	3,00			8,70
		1			2,80	3,00			8,40
		1			0,80	3,00			2,40
		1			5,32	3,00			15,96
		1			0,97	3,00			2,91
	Divisiones Vivienda B	1	1,20			3,00			3,60
		1	2,99			3,00			8,97
		1	6,13			3,00			18,39
		1	3,07			3,00			9,21
		1	3,90			3,00			11,70
		1			0,60	3,00			1,80
		1			1,80	3,00			5,40
		1			0,50	3,00			1,50
		1			1,80	3,00			5,40
		1			4,60	3,00			13,80
		1			3,45	3,00			10,35
		1			1,80	3,00			5,40
		1			3,60	3,00			10,80
		1			1,80	3,00			5,40
	Divisiones Vivienda C	1	0,60			3,00			1,80
		1	4,11			3,00			12,33
		1	1,80			3,00			5,40
		1	5,43			3,00			16,29
		1	0,68			3,00			2,04
		1	1,90			3,00			5,70
		1	0,56			3,00			1,68
		1	6,23			3,00			18,69
		1			4,57	3,00			13,71
		1			3,60	3,00			10,80

## PRESUPUESTO Y MEDICIONES

CÓDIGO	RESUMEN	UDS	LONGITUD	ANCHURA	ALTURA	PARCIALES	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
		1		0,60	3,00	1,80			
		1		1,80	3,00	5,40			
		1		2,40	3,00	7,20			
		1		0,50	3,00	1,50			
		1		0,70	3,00	2,10			
		1		0,80	3,00	2,40			
	Divisiones Vivienda D	1	1,80		3,00	5,40			
		1	1,80		3,00	5,40			
		1	1,90		3,00	5,70			
		1	2,90		3,00	8,70			
		1	4,70		3,00	14,10			
		1	1,80		3,00	5,40			
		1	1,20		3,00	3,60			
		1	1,80		3,00	5,40			
		1		1,17	3,00	3,51			
		1		3,20	3,00	9,60			
		1		0,70	3,00	2,10			
		1		5,93	3,00	17,79			
		1		2,97	3,00	8,91			
		1		4,57	3,00	13,71			
	Divisiones Vivienda E	1	1,75		3,00	5,25			
		1	2,80		3,00	8,40			
		1	1,69		3,00	5,07			
		1	1,21		3,00	3,63			
		1	1,85		3,00	5,55			
		1	4,70		3,00	14,10			
		1	1,70		3,00	5,10			
		1	1,80		3,00	5,40			
		1		4,77	3,00	14,31			
		1		10,16	3,00	30,48			
		1		3,80	3,00	11,40			
	Divisiones Vivienda F	1	2,27		3,00	6,81			
		1	3,40		3,00	10,20			
		1	3,40		3,00	10,20			
		1		2,30	3,00	6,90			
		1		0,65	3,00	1,95			
	Divisiones Vivienda G	1	4,06		3,00	12,18			
		1	1,74		3,00	5,22			
		1	1,79		3,00	5,37			
		1	2,85		3,00	8,55			
		1		3,57	3,00	10,71			
		1		0,60	3,00	1,80			
		1		3,57	3,00	10,71			
		1		2,60	3,00	7,80			
	Divisiones Planta Segunda								
	Divisiones Vivienda A	1	0,74		3,00	2,22			
		1	0,30		3,00	0,90			
		1	2,01		3,00	6,03			
		1	2,01		3,00	6,03			
		1	1,43		3,00	4,29			
		1	5,10		3,00	15,30			
		1	6,45		3,00	19,35			
		1		0,60	3,00	1,80			
		1		2,80	3,00	8,40			
		1		1,90	3,00	5,70			
		1		1,10	3,00	3,30			
		1		2,55	3,00	7,65			
		1		2,45	3,00	7,35			
		1		1,90	3,00	5,70			
		1		0,90	3,00	2,70			
		1		1,90	3,00	5,70			
		1		5,67	3,00	17,01			
		1		0,97	3,00	2,91			

## PRESUPUESTO Y MEDICIONES

CÓDIGO	RESUMEN	UDS	LONGITUD	ANCHURA	ALTURA	PARCIALES	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
		1			0,61	3,00			1,83
	Divisiones Vivienda B	1	1,96			3,00			5,88
		1	1,33			3,00			3,99
		1	0,60			3,00			1,80
		1	1,96			3,00			5,88
		1	6,12			3,00			18,36
		1	3,03			3,00			9,09
		1	0,41			3,00			1,23
		1	3,90			3,00			11,70
		1	0,30			3,00			0,90
		1	0,80			3,00			2,40
		1		1,70		3,00			5,10
		1		1,80		3,00			5,40
		1		0,50		3,00			1,50
		1		1,80		3,00			5,40
		1		3,10		3,00			9,30
		1		4,70		3,00			14,10
		1		0,30		3,00			0,90
		1		1,77		3,00			5,31
		1		1,80		3,00			5,40
		1		1,10		3,00			3,30
	Divisiones Vivienda C	1	0,60			3,00			1,80
		1	4,16			3,00			12,48
		1	4,23			3,00			12,69
		1	1,80			3,00			5,40
		1	1,10			3,00			3,30
		1	4,47			3,00			13,41
		1	1,10			3,00			3,30
		1	0,59			3,00			1,77
		1		1,96		3,00			5,88
		1		1,96		3,00			5,88
		1		2,86		3,00			8,58
		1		3,40		3,00			10,20
		1		1,80		3,00			5,40
		1		1,70		3,00			5,10
		1		0,51		3,00			1,53
	Divisiones Vivienda D	1	1,80			3,00			5,40
		1	1,80			3,00			5,40
		1	1,10			3,00			3,30
		1	2,90			3,00			8,70
		1	2,70			3,00			8,10
		1	1,10			3,00			3,30
		1	1,80			3,00			5,40
		1	1,10			3,00			3,30
		1	0,55			3,00			1,65
		1	1,20			3,00			3,60
		1	1,80			3,00			5,40
		1		1,07		3,00			3,21
		1		3,23		3,00			9,69
		1		0,65		3,00			1,95
		1		5,93		3,00			17,79
		1		4,37		3,00			13,11
		1		1,96		3,00			5,88
		1		2,13		3,00			6,39
		1		1,96		3,00			5,88
	Divisiones Vivienda E	1	1,75			3,00			5,25
		1	1,80			3,00			5,40
		1	1,10			3,00			3,30
		1	1,80			3,00			5,40
		1	1,10			3,00			3,30
		1	0,30			3,00			0,90
		1	3,80			3,00			11,40
		1	1,80			3,00			5,40



## PRESUPUESTO Y MEDICIONES

CÓDIGO	RESUMEN	UDS	LONGITUD	ANCHURA	ALTURA	PARCIALES	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
		1	1,80		3,00	5,40			
		1		1,96	3,00	5,88			
		1		1,96	3,00	5,88			
		1		1,98	3,00	5,94			
		1		4,64	3,00	13,92			
		1		5,42	3,00	16,26			
		1		3,80	3,00	11,40			
		1		0,79	3,00	2,37			
	Divisiones Vivienda F	1	2,27		3,00	6,81			
		1	3,42		3,00	10,26			
		1	3,40		3,00	10,20			
		1		2,40	3,00	7,20			
		1		0,70	3,00	2,10			
	Divisiones Vivienda G	1	4,06		3,00	12,18			
		1	2,29		3,00	6,87			
		1	1,74		3,00	5,22			
		1	1,79		3,00	5,37			
		1		1,05	3,00	3,15			
		1		3,78	3,00	11,34			
		1		3,57	3,00	10,71			
		1		0,60	3,00	1,80			
		1		3,57	3,00	10,71			
		1		2,60	3,00	7,80			
	Divisiones Planta Cubierta	1	0,60		2,79	1,67			
		1	0,74		2,79	2,06			
		1	1,34		2,79	3,74			
		1		2,51	2,79	7,00			
		1		0,70	2,79	1,95			
							1.961,37	21,28	41.737,95
06DPC90415	m2								
	<b>TRASDOSADO MÚLTIPLE PL. YESO LAMINADO 46+15+15 (78 mm)</b>								
	Trasdosado múltiple con dos placas de yeso laminado de 15 mm de espesor por una caracara y espesor final de 78 mm, cubriendo la altura total de suelo a techo, atornillado a entramado de acero galvanizado con una separación de montantes de 60 cm, incluso nivelación, ejecución de ángulos, pasos de instalaciones y recibido de cajas, encintado y repaso de juntas; construido según especificaciones del fabricante de las placas. Medido deduciendo huecos.								
	Trasdós interior cerramiento								
	Planta baja								
	Cerramiento exterior y patio central								
		1	19,06		3,03	57,75			
		1		18,49	3,03	56,02			
		1	6,81		3,03	20,63			
		1	16,65		3,03	50,45			
		1		6,11	3,03	18,51			
		1	1,17		3,03	3,55			
		1		3,30	3,03	10,00			
		1	5,70		3,03	17,27			
		1		2,65	3,03	8,03			
		1	1,50		3,03	4,55			
		1		1,20	3,03	3,64			
		1	4,20		3,03	12,73			
		1		1,93	3,03	5,85			
		1	1,30		3,03	3,94			
		1		0,73	3,03	2,21			
		1	3,30		3,03	10,00			
		1		1,17	3,03	3,55			
		1	3,05		3,03	9,24			
		1		0,88	3,03	2,67			
		1	1,30		3,03	3,94			
		1		4,70	3,03	14,24			
		1	1,40		3,03	4,24			
		1		10,66	3,03	32,30			
		1	0,99		3,03	3,00			

## PRESUPUESTO Y MEDICIONES

CÓDIGO	RESUMEN	UDS	LONGITUD	ANCHURA	ALTURA	PARCIALES	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
		1			1,25	3,03			3,79
		1	3,25			3,03			9,85
		1		1,25		3,03			3,79
		1	9,86			3,03			29,88
		1			4,80	3,03			14,54
	Caja escalera	1			4,93	3,03			14,94
	Planta primera								
	Cerramiento exterior								
		1	19,14			3,00			57,42
		1			18,55	3,00			55,65
		1	15,69			3,00			47,07
		1		4,40		3,00			13,20
	patio pequeño	1	3,00			3,00			9,00
		1			4,25	3,00			12,75
	Patio central	1	1,30			3,00			3,90
		1		0,88		3,00			2,64
		1	3,05			3,00			9,15
		1		1,17		3,00			3,51
		1	3,30			3,00			9,90
		1		0,75		3,00			2,25
		1	1,30			3,00			3,90
		1		1,93		3,00			5,79
		1	4,20			3,00			12,60
		1		1,20		3,00			3,60
		1	1,50			3,00			4,50
		1		2,65		3,00			7,95
		1	5,70			3,00			17,10
		1		3,30		3,00			9,90
		1	1,17			3,00			3,51
		1		3,60		3,00			10,80
		1	7,26			3,00			21,78
		1		1,55		3,00			4,65
		1	5,34			3,00			16,02
		1		2,21		3,00			6,63
		1	6,40			3,00			19,20
		1		1,25		3,00			3,75
		1	3,25			3,00			9,75
		1		1,25		3,00			3,75
		1	0,99			3,00			2,97
		1		10,66		3,00			31,98
		1	1,40			3,00			4,20
		1		4,70		3,00			14,10
	Caja escalera	1			4,93	3,00			14,79
	Planta segunda								
	Cerramiento exterior								
		1	19,14			3,00			57,42
		1			18,55	3,00			55,65
		1	15,65			3,00			46,95
	Patio pequeño	1	3,00		2,67	3,00			8,01
		1			3,00	3,00			9,00
		1			2,52	3,00			7,56
	Patio central	1	1,30			3,00			3,90
		1		0,88		3,00			2,64
		1	3,05			3,00			9,15
		1		1,17		3,00			3,51
		1	3,30			3,00			9,90
		1		0,73		3,00			2,19
		1	1,30			3,00			3,90
		1		1,93		3,00			5,79
		1	4,20			3,00			12,60
		1		1,20		3,00			3,60
		1	1,50			3,00			4,50
		1		2,65		3,00			7,95
		1	5,70			3,00			17,10

## PRESUPUESTO Y MEDICIONES

CÓDIGO	RESUMEN	UDS	LONGITUD	ANCHURA	ALTURA	PARCIALES	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
		1			3,30	3,00		9,90	
		1	1,17			3,00		3,51	
		1		3,60		3,00		10,80	
		1	7,26			3,00		21,78	
		1		1,55		3,00		4,65	
		1	5,34			3,00		16,02	
		1		2,21		3,00		6,63	
		1	6,40			3,00		19,20	
		1		1,25		3,00		3,75	
		1	3,25			3,00		9,75	
		1		1,25		3,00		3,75	
		1	0,99			3,00		2,97	
		1		10,66		3,00		31,98	
		1	1,40			3,00		4,20	
		1		4,70		3,00		14,10	
	Planta cubierta								
	Cerramientos castilletes								
	Castillete superior	1	2,38			2,79		6,64	
		1		2,76		2,79		7,70	
		1	8,89			2,79		24,80	
		1		1,59		2,79		4,44	
		1	4,41			2,79		12,30	
		1		2,76		2,79		7,70	
		1	1,91			2,79		5,33	
		1		9,71		2,79		27,09	
		1	2,30			2,79		6,42	
		1		4,03		2,79		11,24	
		1	5,66			2,79		15,79	
		1		11,55		2,79		32,22	
		1	14,29			2,79		39,87	
		1		6,43		2,79		17,94	
	Castillete inferior derecha	1	7,40			2,79		20,65	
		1		2,36		2,79		6,58	
		1	3,81			2,79		10,63	
		1		2,92		2,79		8,15	
		1	3,60			2,79		10,04	
		1		5,45		2,79		15,21	
	Castillete inferior izquierda	1	4,55			2,79		12,69	
		1		4,03		2,79		11,24	
		1	0,61			2,79		1,70	
		1		1,58		2,79		4,41	
		1	5,21			2,79		14,54	
		1		5,46		2,79		15,23	
	Medianeras								
	Medianeras planta baja	1	32,10			3,03		97,26	
		1	6,15			3,03		18,63	
		1	29,68			3,03		89,93	
	Medianeras planta primera	1	32,10			3,00		96,30	
		1	6,15			3,00		18,45	
		1	29,68			3,00		89,04	
	Medianeras planta segunda	1	32,10			3,00		96,30	
		1	6,15			3,00		18,45	
		1	29,68			3,00		89,04	
	Trasdosado cerramiento caja ascensor								
	Caja ascensor escalera principal								
	Planta baja caja ascensor	2	1,67			3,03		10,12	
		1		2,45		3,03		7,42	
	Planta primera caja ascensor	2	1,67			3,00		10,02	
		1		2,45		3,00		7,35	
	Planta segunda caja ascensor	2	1,67			3,00		10,02	
		1		2,45		3,00		7,35	
	Planta castillete caja ascensor	2	1,67			2,79		9,32	

## PRESUPUESTO Y MEDICIONES

CÓDIGO	RESUMEN	UDS	LONGITUD	ANCHURA	ALTURA	PARCIALES	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
		1		2,45	2,79	6,84			
	Divisiones entre viviendas								
	Divisiones planta baja	2		3,95	3,03	23,94			
		2	4,89		3,03	29,63			
		2		12,07	3,03	73,14			
		2		10,95	3,03	66,36			
		2	2,18		3,03	13,21			
		2	3,67		3,03	22,24			
		2	0,65		3,03	3,94			
		2		3,98	3,03	24,12			
	Divisiones planta primera	2	5,52		3,00	33,12			
		2	5,10		3,00	30,60			
		2		11,88	3,00	71,28			
		2		10,77	3,00	64,62			
		2	2,18		3,00	13,08			
		2	3,67		3,00	22,02			
		2	0,65		3,00	3,90			
		2		4,34	3,00	26,04			
		2		7,03	3,00	42,18			
	Divisiones planta segunda	2	5,57		3,00	33,42			
		2	5,10		3,00	30,60			
		2		11,93	3,00	71,58			
		2		10,77	3,00	64,62			
		2	2,18		3,00	13,08			
		2	3,95		3,00	23,70			
		2	0,65		3,00	3,90			
		2		4,02	3,00	24,12			
	Castillete superior	2		3,36	2,79	18,75			
		2		4,95	2,79	27,62			
		2	3,36		2,79	18,75			
	Caja ascensor escalera principal								
	Planta baja caja ascensor	2	1,67		3,03	10,12			
		1		2,45	3,03	7,42			
	Planta primera caja ascensor	2	1,67		3,00	10,02			
		1		2,45	3,00	7,35			
	Planta segunda caja ascensor	2	1,67		3,00	10,02			
		1		2,45	3,00	7,35			
	Planta castillete caja ascensor	2	1,67		2,79	9,32			
		1		2,45	2,79	6,84			
							3.323,46	20,44	67.931,52