

PROPUESTA ALTERNATIVA DE CONSTRUCCIÓN ECOEFIICIENTE CON PANELES DE YESO COMPUESTOS MEDIANTE ADICIÓN DE PELOTAS DE TENIS COMO RESIDUO PLÁSTICO

TRABAJO FIN DE GRADO

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE ARQUITECTURA
(UNIVERSIDAD DE SEVILLA)

Realizado por:

José Antonio Cebrián Delgado

Tutor: Ignacio Vioque Romero

Grupo Docente:

Paloma Rubio de Hita

Enrique D. Fernandez Nieto

Diego Cesar Frustagia

Profesores vinculados:

Filomena Pérez Gálvez

Gladys Narbona Reina

Curso /Grupo:

2021-22 | Grupo H



PRÓLOGO

RESUMEN. PALABRAS CLAVE.....	4
ABSTRACT. KEY WORDS.....	4

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	7
2. ESTADO DE LA CUESTIÓN.....	13
3. OBJETIVOS.....	27
3.1 OBJETIVOS GENERALES.....	27
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	27
4. HIPÓTESIS DE PARTIDA.....	29
5. METODOLOGÍA DE TRABAJO.....	31
6. PLANTEAMIENTO EXPERIMENTAL.....	33
6.1 INTRODUCCIÓN METODOLÓGICA, NORMATIVA DE REFERENCIA.....	33
6.2 PROBETAS, ADAPTACIÓN A LOS ENSAYOS, DOSIFICACIONES.....	34
6.3 PROCESOS PREVIOS A LA ELABORACIÓN DE LAS PROBETAS EN EL LABORATORIO: CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES.....	36
6.4 PROCESO DE ELABORACIÓN DE PROBETAS EN LABORATORIO.....	41
6.5 ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN.....	45
6.5.1 ENSAYOS DE DENSIDAD APARENTE.....	45
6.5.2 ENSAYOS MECÁNICOS.....	48
6.5.2.1 RESISTENCIA A FLEXIÓN.....	49
6.5.2.2 RESISTENCIA A COMPRESIÓN.....	58
7. ANÁLISIS Y CONCLUSIONES DE LOS ENSAYOS.....	68
7.1 ANÁLISIS DE VALORES DENSIDAD MEDIOS.....	68
7.2 ANÁLISIS DE VALORES MECÁNICOS MEDIOS.....	69
7.3 CONCLUSIONES Y MATERIALIDAD PARA PRODUCTO PROPUESTO.....	71
8. DISEÑO DEL PRODUCTO PROPUESTO.....	73
8.1 PRODUCTO COMERCIAL DE REFERENCIA.....	73
8.2 DEFINICIÓN DEL PRODUCTO PROPUESTO.....	75
9. APLICACIÓN EN UN CASO PRÁCTICO.....	81
10. CONCLUSIONES.....	85
11. APÉNDICES.....	88
12. ANEXOS.....	96

RESUMEN. PALABRAS CLAVE

En el presente Trabajo Final de Grado se lleva a cabo una investigación sobre la composición de un material con base mortero de yeso, sustituyendo parte de ese por un residuo plástico como son las pelotas de tenis. Para ello, se realizan una serie de ensayos de densidad y mecánicos cuyos resultados nos permitan determinar la viabilidad, elaboración y aplicación de este nuevo material propuesto, que tiene como principal objetivo la reducción de materiales y recursos, junto a los consumos de energía asociados a su producción. Al mismo tiempo, se está aumentando el reciclaje de residuos plásticos, alargando su vida útil, contribuyendo a reducir el impacto medioambiental que suponen. Por tanto, se nos presenta una propuesta de un nuevo material ecoeficiente para su uso en el sector de la edificación.

Para la realización de los ensayos variaremos el parámetro del porcentaje de sustitución de nuestro residuo plástico tomando las dosificaciones del 4%, 8% y 12%.

Palabras clave: pelotas de tenis, yeso, residuos plásticos, reciclaje, material ecoeficiente.

ABSTRACT. KEY WORDS

In this Final Degree Project, an investigation is carried out on the composition of a gypsum mortar-based material, replacing part of it with a plastic residue such as tennis balls. For this, a series of density and mechanical tests are carried out, the results of which allow us to determine the feasibility, elaboration and application of this new proposed material, whose main objective is the reduction of materials and resources, together with the energy consumption associated with their production. At the same time, the recycling of plastic waste is increasing, extending its useful life, helping to reduce the environmental impact that it entails. Therefore, we are presented with a proposal for a new eco-efficient material for use in the building sector.

To carry out the tests, we will vary the parameter of the substitution percentage of our plastic waste, taking the dosages of 4%, 8% and 12%.

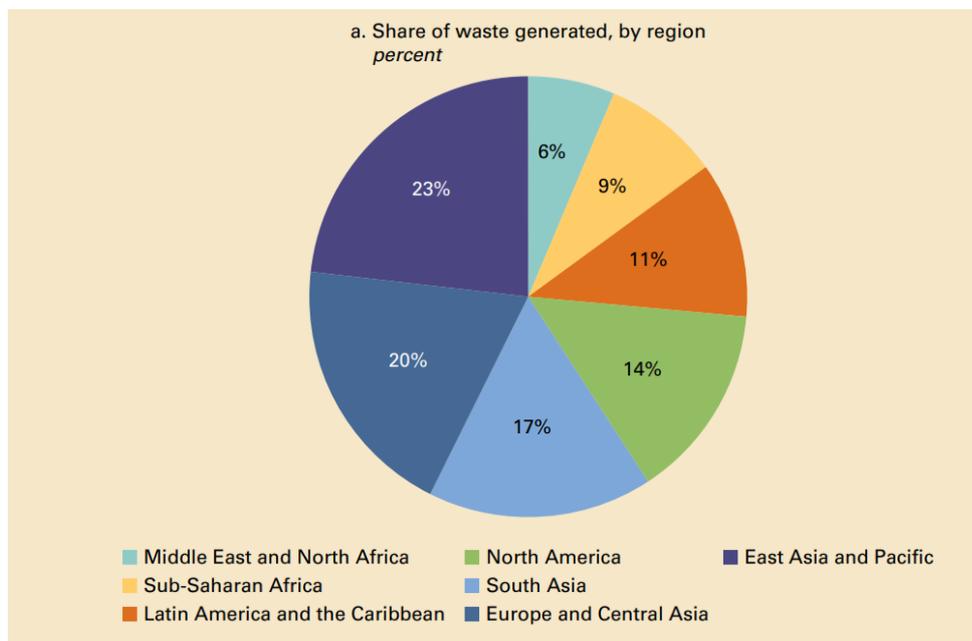
Key words: tennis balls, gypsum, plastic waste, recycling, eco-efficient material.

Este Trabajo Fin de Grado ha sido realizado en grupo en la primera parte correspondiente a la fase de experimentación, formando dicho grupo con Natalia Vázquez Paredes. Es por esto que el contenido de los puntos 1, 2, 3, 4, 5, 6, 6.1, 6.2, 6.3 y 6.4 será similar en ambos documentos presentados, tratándose este documento de un trabajo individual.

1. INTRODUCCIÓN

1. INTRODUCCIÓN

La generación de residuos sólidos que es producida por las nuevas urbanizaciones, el progreso económico y el aumento de la población, está recibiendo una observación crítica en la población [1]. Se ha calculado que, en 2016, se generaron 2010 millones de toneladas de residuos sólidos en las zonas urbanas. Según la Organización del Banco Mundial se espera un crecimiento del 70% llegando a alcanzar los 3400 millones de toneladas en 2050 [2]. Las regiones con mayor cantidad de residuos en valores absolutos fueron Asia Oriental y el Pacífico con 468 millones de toneladas; mientras que las que menos fueron Medio Oriente y África del Norte con 129 millones de toneladas, en el 2016. Siendo Asia el continente que genera una mayor cantidad de residuos, con un total 60% [FIG_01], esto se produce debido a que las fábricas de las grandes empresas mundiales están localizadas en esta región, pero se prevé que para 2050 la generación total de desechos sea casi el triple [FIG_01] [2].

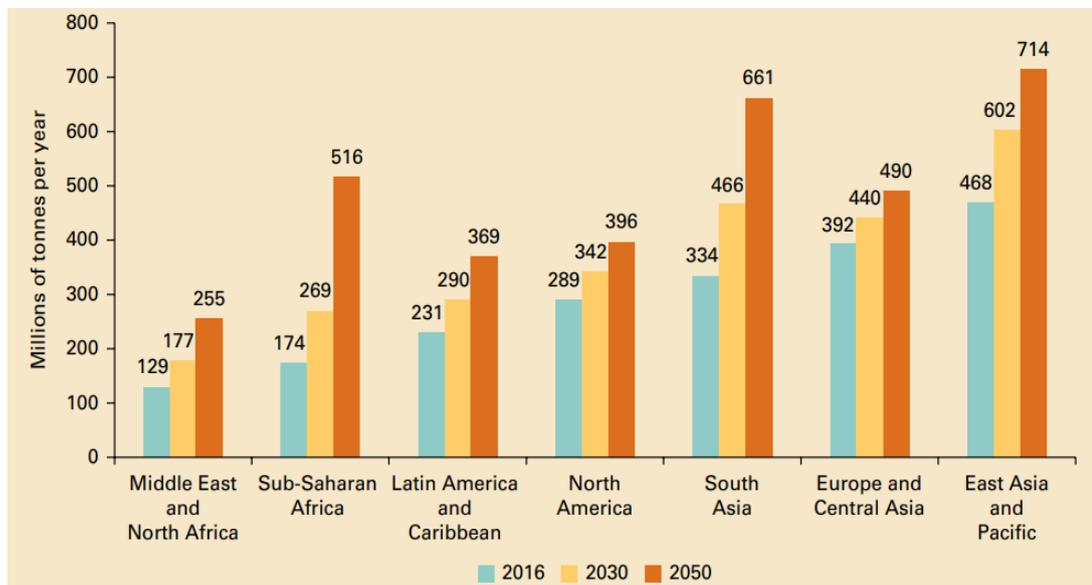


FIG_01: Porcentaje de residuos sólidos generados en el año 2016 [2].

La recogida de los residuos sólidos es un proceso bastante crítico que varía según los diferentes ingresos de los países. Los países con ingresos medio-altos y altos realizan una recolección casi íntegra, como por ejemplo Estados Unidos recolecta el 90% de los desechos. Los países de bajos ingresos recopilan el 48%, pero este porcentaje disminuye drásticamente cuando salimos de las zonas metropolitanas que disminuye un 26% [2].

Las vidas de quince millones de personas se ven afectadas por la recogida de residuos debido a los vertederos deficientes, las inclemencias del tiempo y los derrumbes de los mismos. Muchas de estas personas viven en los vertederos o cerca de estos, son los que alimentan el sistema de reciclaje de sus ciudades, por lo que sus vidas están en constante peligro a los deslizamientos de tierra en los basureros. En 2017 los deslizamientos de tierra produjeron más de 150 muertes y la reubicación de varias personas en Colombo, Sri Lanka; Addis Abeba, Etiopía e India [3].

A nivel mundial los recicladores carecen de un trabajo digno y decente, por lo general ganan muy poco y no tienen protección social, mientras que se enfrentan a grandes riesgos de lesiones especialmente en vertederos abiertos. Ya que lo objetivo principal es la de disminuir la cantidad de residuos y no se le presta atención a quienes se encargan de estos trabajos por lo que están completamente desprotegidos y son vulnerables a las fluctuaciones de precios [4].



FIG_02: Generación total de residuos proyectada [2].

Los tipos de residuos cambian según los niveles de ingresos de los países y los patrones de consumo del mismo. Los países con altos ingresos producen menos residuos de alimentos y verdes, es un 32 % del total de residuos que generan, respecto a los desechos secos que incluyen entre ellos plásticos, vidrio, cartón y metal, que pueden ser reciclados y representa el 51 % de los desechos. Los países de medio o bajo ingresos económicos producen un 56 % de residuos de alimentos y verdes y el porcentaje aumenta a medida que baja el nivel de desarrollo económico, lo que nos genera que el porcentaje de residuo que es posible reciclar sea el 16% [2].

La gestión de estos residuos es un problema a nivel mundial en términos de contaminación ambiental, inclusión social y sostenibilidad económica [5]. Debemos diferenciar entre los países con altos ingresos económicos con los de bajos ingresos ya que el 93% de los desechos se vierte en países de bajos ingresos y solo el 2% en países de altos ingresos. El tipo de gestión que realizan cada país es diferente por ejemplo los países de recursos medios económicos vierten sus residuos en vertederos en un 54% y en los de altos ingresos esta tasa disminuye al 39% y el 22% es incinerado, este método solo se utiliza en los países de alta capacidad, altos ingresos y con limitaciones territoriales como por ejemplo Japón [2].

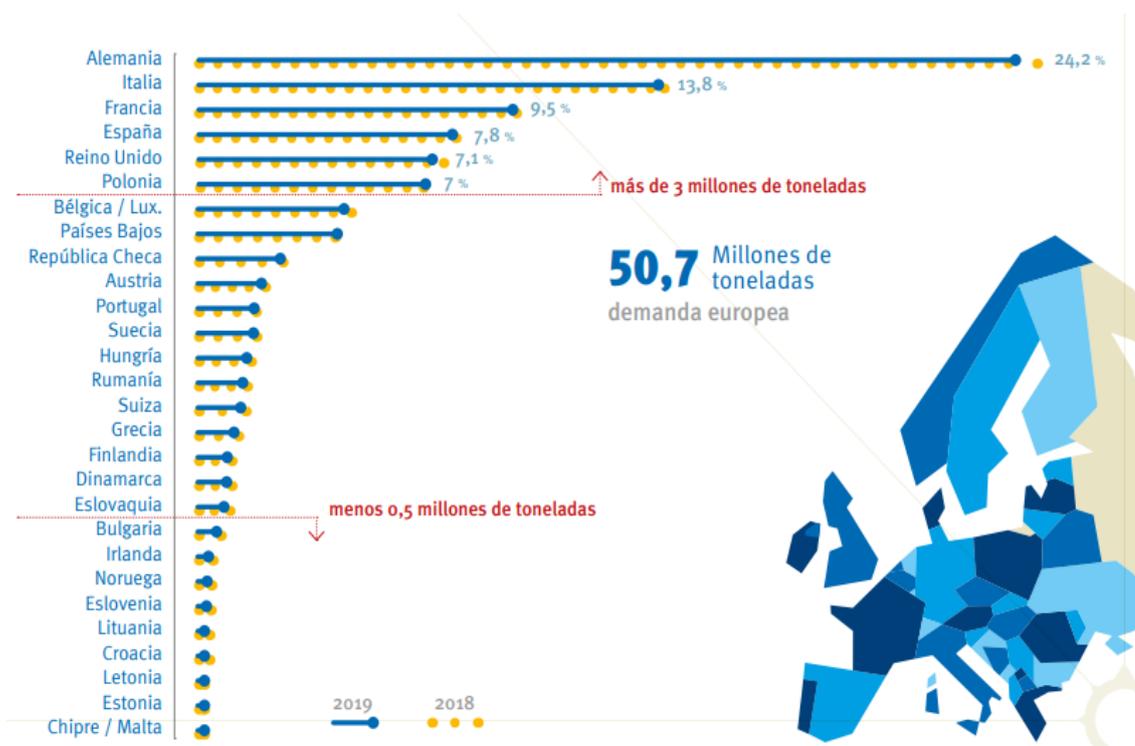
Debemos conocer las consecuencias no sólo ambientales sino también de salud que son originados por los vertederos abiertos que contribuyen a la contaminación y provocan la propagación de enfermedades, mientras que la combustión descontrolada de desechos aumenta los riesgos para la salud de la población. En los vertederos se producen deslizamientos de los vertidos que pueden llevar a las bolsas o agua, lo que conlleva

grandes problemas para la salud de los seres humanos, por lo que es recomendable contar con un respaldo científico para la selección de residuos sólidos. Con la creciente comprensión de los ciudadanos de la importancia de la protección ambiental y los impactos de los productos fabricados y consumidos se ha empezado a aplicar la Economía Circular [6].

La Economía circular está implantada en la Unión Europea y se presentó en marzo de 2022 una nueva propuesta en la que se diseñaron productos más sostenibles, la reducción de residuos y el empoderamiento de los ciudadanos. En los que se presta especial atención a ciertos sectores que requieren intensos recursos como son la electrónica y las TIC, la construcción, los textiles o plásticos. Debemos destacar que los residuos producidos por la construcción constituyen el 36.40% de los vertidos generados en la UE durante el periodo de un año, respecto a los producidos por los hogares que corresponde el 8.50% [7].

Uno de los materiales más afianzados en la Economía circular es el plástico ya que está presente en la mayoría de los productos que usamos diariamente. La producción a nivel mundial durante el 2019 alcanzó los 370 millones de toneladas de plástico y en Europa fue casi de 58 millones de toneladas, respecto a la demanda que se tenía que era del 50.7 millones. Siendo Alemania el país más demandado y Chipre el menos [FIG_03] [8].

En cuanto a valores de consumo se refiere Europa ocupa el 16% de consumo de plástico a nivel mundial, respecto a China que consume el 31% [8].



FIG_03: Demanda de plástico por países en Europa [8].

Durante el 2018 se recogieron 29.1 millones de residuos de plásticos para su posterior tratamiento, siendo esta cifra el doble de la de los plásticos enviados para su reciclado en 2016. Pero a pesar de las buenas cifras todavía queda un 25% de los residuos de plásticos post consumo que son enviados a vertederos. Para conseguir la Economía circular

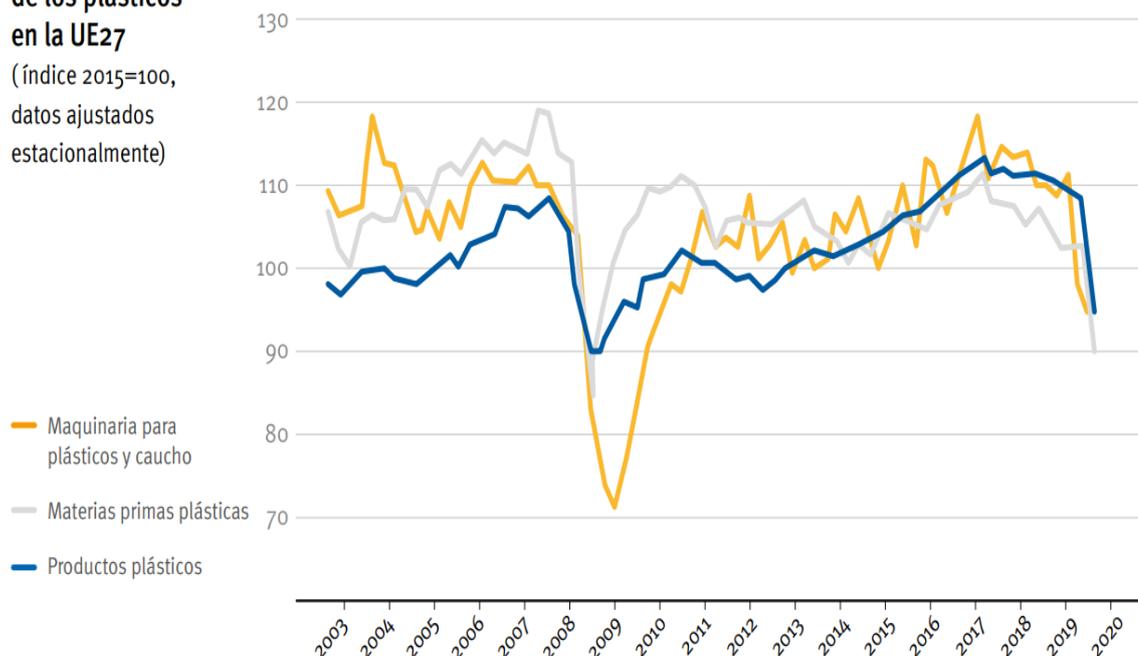
completa de los plásticos debemos lograr cero depósitos en vertederos. Para ello en algunos países se está empezando a restringir la cantidad de depósito de residuos reciclables y recuperables en vertederos que cuentan con un mayor porcentaje de reciclaje de residuos plásticos post-consumo. Por ejemplo, Suiza recicla el 25% de los residuos de plástico y con el 75 % restante genera la recuperación energética, mientras que Malta que recicla 20% y vierte a vertedero el 80% [8].

En España durante 2018 se recogieron 2.5 millones de toneladas de residuos plásticos post-consumo, para luego ser tratados en programas de recogida oficiales. En el intervalo de tiempo entre 2006 y 2018, en nuestro país el volumen recogido para reciclaje se multiplicó por 2,3, la recuperación energética aumentó en un 59% y el depósito en vertederos disminuyó en un 41% [8].

La perspectiva que se tiene sobre el plástico a nivel de Europa respecto al 2018 es un descenso de la industria de los plásticos, uno de los causantes de este descenso fue la pandemia del coronavirus [FIG_04] que ha intensificado este descenso. Fue originado en el primer trimestre de 2020, la producción se empezó a recuperar a partir de junio de 2020 de manera continuada hasta el 2021. La velocidad de recuperación depende del impacto causado la situación sanitaria que hemos atravesado en estos años afectando a la demanda de plástico en sectores como la edificación o la automoción. Se estima que en la actualidad ya se están alcanzando los dichos valores de producción anteriores [8].

Producción de la industria de los plásticos en la UE27

(índice 2015=100, datos ajustados estacionalmente)



FIG_04: Producción de la industria de los plásticos en la UE [8].

Los sistemas generales que se utilizan para la gestión de residuos que contienen caucho se centran principalmente en la recogida, la quema y la eliminación en vertederos a cielo abierto. Estos sistemas utilizados a lo largo de los años han limitado el crecimiento de técnicas integradas en la gestión de residuos, como el reciclaje y la recuperación, con el objetivo de disminuir residuos al medio ambiente [1].

El motivo por lo que este trabajo se centrará en dar una segunda vida a las pelotas de tenis, ya que están fabricadas mediante caucho sintético, que son obtenidos a partir de una variedad de hidrocarburos derivados del petróleo.

Dicho residuo se está generando de forma globalizada debido a la práctica de dos deportes concretos que son el tenis y el pádel, dependiendo de las pelotas de tenis para poder ser practicado. Actualmente no se le está dando una segunda vida a las pelotas y están fabricadas en su mayor parte por caucho.

2. ESTADO DE LA CUESTIÓN

2. ESTADO DE LA CUESTIÓN

Una vez estudiadas las problemáticas que se originan por el vertido de los residuos a nivel mundial y el panorama actual de uno de los productos que más ha incrementado su producción en los últimos 50 años. El trabajo que se va a desarrollar se centra en la investigación de los polímeros elastómeros, que proporcionan propiedades elásticas a nuestro residuo(caucho) y en los polímeros artificiales, que nos proporciona propiedades elásticas y resistentes (nylon). Estos dos productos son lo que conforman las pelotas de tenis, en el que se centra la parte experimental del trabajo para introducirlo como residuo reciclado en un nuevo sistema de construcción.

Los polímeros tienen la posibilidad de dividirse en dos grupos primordiales: termoplásticos y materiales termoendurecibles. Los termoplásticos se ablandan una vez que se calientan, por lo cual tienen la posibilidad de moldearse y después enfriarse para obtener la forma deseada. Los materiales termoendurecibles como las gomas tienen un procesamiento y el moldeo reticular, por lo que son imposibles de reblandecer ni remodelar calentándose nuevamente. Con esto se llega a la conclusión que los termoplásticos son más simples de reciclar que los polímeros termoestables y los cauchos, ya que su reciclaje no es simple [9].

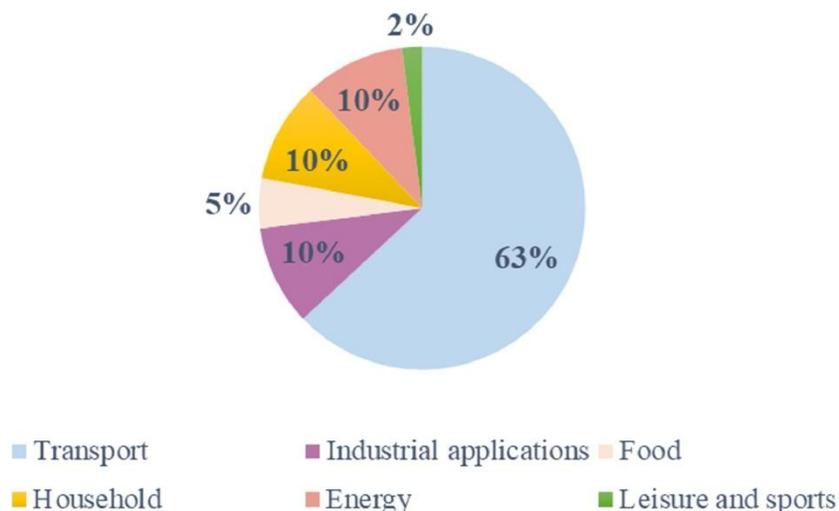
Para el reciclado de los polímeros termoestables se debe romper la red tridimensional, ya sea mediante de una escisión de los enlaces cruzados o mediante los enlaces de carbono-carbono. En definitiva, los termoplásticos son menos problemáticos para su reciclado y es más económico, compite directamente con el polímero virgen [9].

En el caso del reciclaje de termoplásticos, se usan termoplásticos recuperados junto con resinas vírgenes y aditivos de primera generación para obtener las características deseadas en el producto. Aunque dicho proceso es complicado, la utilización de resinas termoestables recuperadas/demolidas en novedosas formulaciones de polímeros tiene cierta predominancia en las propiedades de flujo y deformación. La conversión química de los materiales termoplásticos de desecho puede regenerar su respectivo monómero, proporcionando productos de costo añadido. Hasta la fecha no existe tal esfuerzo para recobrar el constituyente monomérico de los desperdicios elastoméricos que corresponden [9].

El caucho, dentro de los termoplásticos, es un material elastómero. Se subdivide en dos tipos: Caucho natural y caucho sintético. El caucho natural que es utilizado es aquel que es obtenido de *Hevea brasiliensis* y en el caucho sintético se trata de una sintetización de un monómero de una variedad de hidrocarburos derivados del petróleo. Los cauchos sintéticos comúnmente producidos son cauchos de estireno-butadieno, butadieno, cloropreno e isobutileno [1].

La demanda de la producción de caucho está aumentando de una manera muy potencial cada año, la producción mundial respecto el 2018 ha aumentado casi un 13.9 millones de toneladas métricas. Durante el 2018 los países de Europa, Oriente medio y África produjeron el 6,5% del caucho natural, respecto al sudeste de Asia que generó el 91%. El caucho sintético se utiliza principalmente en la industria del transporte (neumáticos). Tanto el caucho natural como el sintético generan residuos que tardan años en poder descomponerse de manera natural. Durante el 2016 sabemos que el 63% del caucho

fabricado fue para la industria del transporte y el siguiente consumo sería el energético, industrial y doméstico que cada uno de ellos consume un 10% [FIG_05] [1].



FIG_05: Porcentaje de caucho utilizado por diferentes sectores industriales en 2016 [1]

La eliminación de residuos de caucho es uno de los problemas mundiales al que no se le ha dado una solución. Actualmente los métodos que se utilizan para gestión de este residuo no es el más adecuado ya que nos causan graves problemas ecológicos. Además, una de las causas es que cada desecho de caucho contiene unas propiedades concretas, por lo consiguiente no se deberían gestionar todos de la misma manera se deberían de comprender los productos de caucho por separado [1].

Actualmente los productos de caucho se pueden reciclar sometiéndose a la desvulcanización y degradación controlada. Para poder entender en qué consiste dicho proceso vamos a explicar que es la vulcanización del caucho, tratándose de un procedimiento por el cual el azufre se le añade en forma de aditivo, por lo que forman enlaces de carbonos en la estructura del caucho [10].

La principal diferencia entre los dos procesos es la rotura de los enlaces del caucho. El procedimiento de degradación produce una rotura de la columna vertebral de los enlaces de elastómeros saturados, que origina que el caucho pierda sus propiedades mecánicas. En el proceso de la desvulcanización no se pierden sus propiedades elastoméricas y pueden utilizarse para poder producir nuevos productos. El reciclaje de este material es actualmente un desafío al que no se le ha dado una solución, esto es debido a su compleja estructura reticular junto a los productos químicos que se utilizan en la vulcanización del caucho y los gases que se originan en el proceso de añadir distintos aditivos para obtener mejores propiedades en el caucho. En definitiva, para reducir los contaminantes se deben de tener diferentes sistemas de gestión de este residuo [1].

En muchos países se está empezando a introducir la economía circular del caucho, lo que nos permite dar un nuevo uso y aliviar el problema que existe a nivel mundial de desechos de caucho. Actualmente el único producto que se ha incorporado ha sido los neumáticos, durante el 2018 el 91% de los neumáticos al final de su vida útil fueron reciclados en 32 países (UE 28, Noruega, Turquía, Serbia y Suiza) fueron recolectados y tratados para el reciclaje de materiales. y valorización energética. El 48% de los neumáticos recogidos son

utilizados para la recuperación de energía y el 52% para la recuperación del material [FIG_06] [1].



FIG_06: Economía circular de los neumáticos [1]

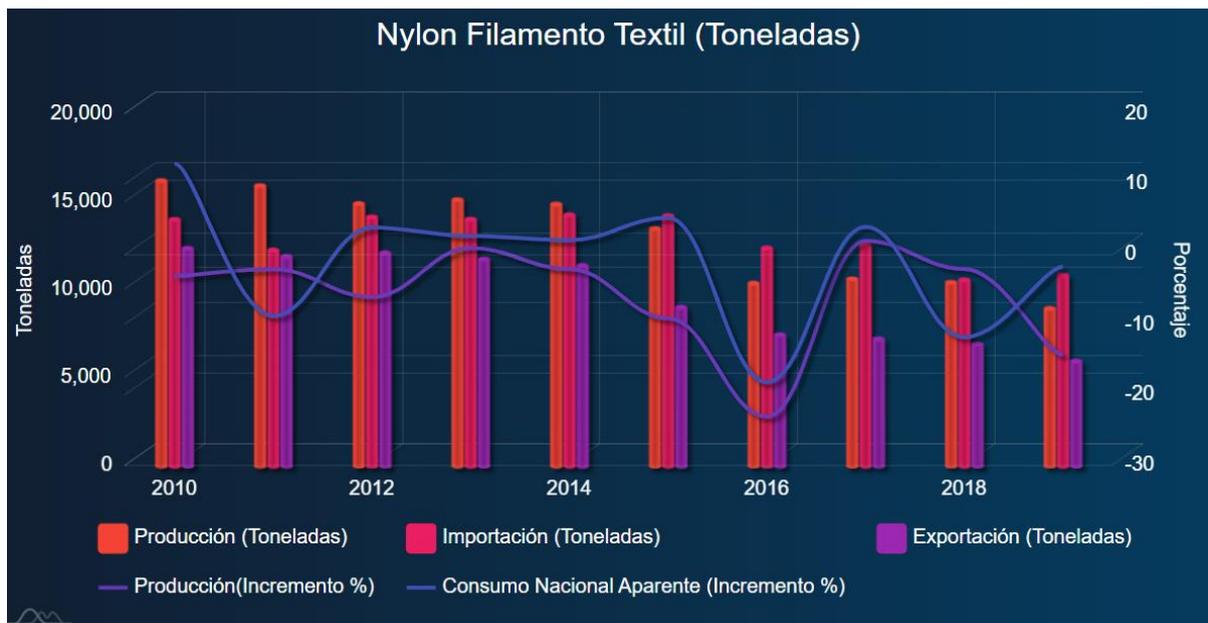
El nylon es un polímero artificial que pertenece al grupo de las poliamidas, las cuales tienen buena dureza, resiliencia y durabilidad, resistencia al suelo y la suciedad, tiene buenas características de abrasión y desgaste, efectos de costo, disponibilidad en diferentes secciones transversales y colores [11]. El nylon moldeado se utiliza también como material duro en la fabricación de diversos utensilios, como mangos de cepillos o peines, por ejemplo. En 1938 se fabricaron las primeras medias de nylon, cuyo descubrimiento revolucionó la moda de la época para las mujeres, llegando a Europa las primeras partidas en 1945.

Uno de los grandes usos para este material fue la fabricación de numerosos productos para la Segunda Guerra Mundial, como fueron cuerdas y paracaídas. A lo largo de los años se han encontrado otros campos de aplicación como materiales plásticos donde se requiera más de una de las siguientes propiedades: rigidez, resistencia a la abrasión, resistencia al calor y tenacidad. Pero debemos destacar que debido a su alto coste no ha alcanzado unos niveles de aplicación tan altos como los polietilenos o poliestireno, que tienen un coste de producción inferior. Aunque no se considere un material aislante, se está empezando a aplicar en ciertos campos de aislamiento eléctrico debido a sus propiedades de resistencia térmica y su tenacidad [12].

Principalmente existen dos tipos de nylon, el nylon 6 y nylon 66, aunque el comportamiento de ambos es bastante parecido, la razón por la que se fabrican los dos tipos, es porque el descubridor de este material tenía la patente y el resto de compañías tuvieron que desarrollar la variante de el nylon 6 para poder entrar en el mercado. La obtención del nylon 6 es mediante una sola clase de monómero, llamado caprolactama mientras que el nylon 66 se

obtiene a partir de la reacción de polimerización por crecimiento en etapas; siendo esta su principal diferencia [12].

La producción del nylon está más ampliamente distribuida por regiones respecto al poliéster. El grupo conformado por China, India y el sudeste asiático representa el 52% total de la producción mundial, América constituye el 20%. Una de las aplicaciones más significativa es la fabricación de alfombras que corresponde el 17.5% del uso global. Otras de las aplicaciones también bastante exitosas son la de llantas de trabajos pesados, ropa íntima y bolsa de protección para automóviles. Actualmente la fabricación del nylon se ve un poco afectada ya que se está empezando a sustituir este material por el poliéster, que su coste es inferior [13].



FIG_07: Consumo del Nylon en España [14]

El consumo del nylon a escala nacional ha ido disminuyendo debido a que se está empleando en la industria de la moda el poliéster [FIG_07]. Por lo que se está empezando a usar para plásticos industriales, componentes de automóviles y materiales electrónicos [14].

El nylon es un material no biodegradable y puede llegar a tardar más de 500 años en ser absorbido por la naturaleza, esto es también debido a muchos de los aditivos que se le han ido añadiendo en su procedimiento. Debemos recordar que este problema no es solo de nylon si no de la mayoría de los plásticos. Los beneficios del nylon reciclado es que no es necesario el uso de petróleo en su fabricación, requiere menos energía, su procedimiento emite menos CO₂ que la producción de nylon virgen [15]. Una de las empresas que utilizan nylon 100% es Nurel Synthetic Fibers que con ello consigue reducir la dependencia de fuentes no renovables, mantiene limpio el campo y disminuye el impacto ambiental [16].

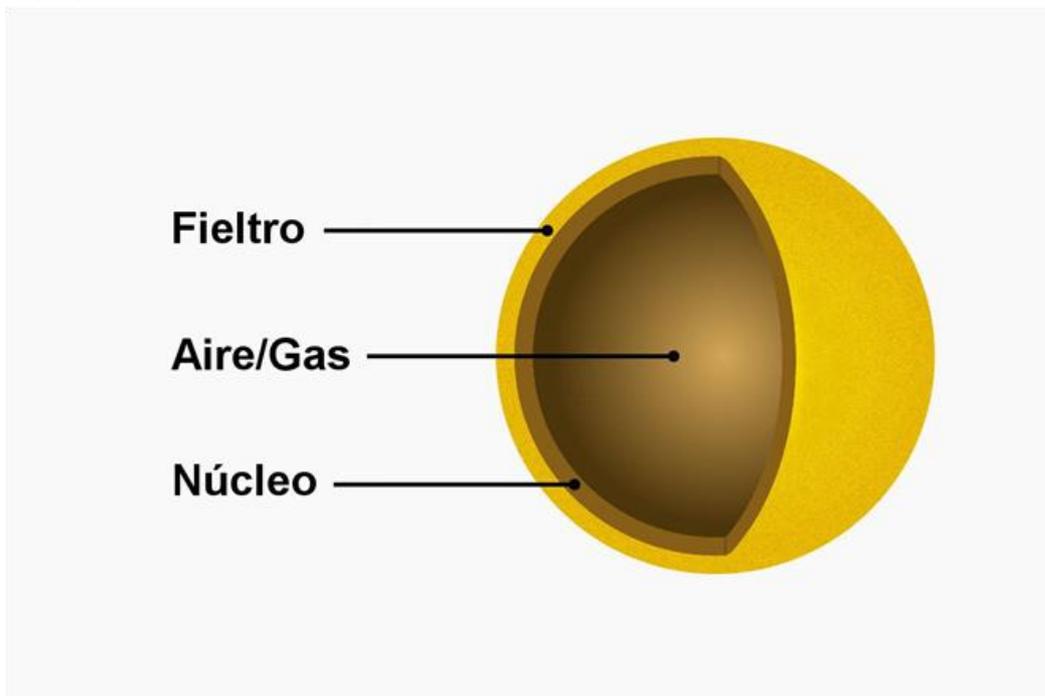
Como hemos visto, entre los dos materiales que conforman las pelotas de tenis, tienen un gran impacto medioambiental, por consiguiente, cualquier propuesta que permita su reciclado y no su vertido en vertederos sería un avance para el medioambiente.

Una vez conocidos, estudiados y cuantificados los datos sobre la producción tanto del caucho sintético como del nailon, que son los materiales con los que se construye nuestro residuo, la pelota de tenis; vamos a centrarnos en ésta última.

En sus inicios se usaba como pelota de tenis una bolsita rellena de pelo que golpeaban con las manos, no introduciendo la raqueta hasta más adelante. No es hasta años más tarde, cuando se le puede dar mayor velocidad al juego con la creación de una pelota más resistente. El relleno de las pelotas era una combinación de masilla, pelo y más tarde también de lana. [25]

Mientras más avanza el tiempo, igualmente avanza la tecnología de la pelota de tenis. Dentro de todas las cualidades que debe tener esta bola, un factor de calidad es la velocidad de la bola provocada por el rebote del impacto de la misma contra la superficie de la pista. Deben ser de carácter uniforme, es decir, deben poseer sólo un material que las envuelva, ya que, de lo contrario, las costuras podrían influir en que la pelota no tenga un bote correcto o provoque efectos de rebote irregulares. [25]

Una pelota de tenis tiene básicamente dos componentes, un núcleo de la pelota de caucho sintético [FIG_09] y una capa exterior de fibra de nailon [FIG_08]. El núcleo de la bola consiste en dos hemisferios que están pegados entre sí [FIG_10]. El núcleo influye en las características básicas de juego de la pelota de tenis, especialmente el peso y el rebote. Dependiendo del tipo de pelota, el núcleo de goma se llena con un gas especial o aire normal. [26]



FIG_08: Estructura de la pelota de tenis [26].

Todo ello viene condicionado por el reglamento del juego y sus características lo cual queda estipulado por la Federación Internacional de Tenis (ITF) quedando perfectamente definido el proceso de fabricación de las pelotas y qué condiciones deben reunir para ser valoradas como aptas para la práctica del juego.

La ITF estipula que las pelotas de tenis deberían tener entre 6,35 y 6,67 [FIG_10] de centímetros en diámetro y pesar entre 56,7 y 58,47 gramos. El fieltro de fibra de nailon se pegará utilizando un adhesivo específico para la fibra de nylon [FIG_12] [26].



FIG_09: Caucho caracterizado para producir pelotas de tenis [27].



FIG_10: Semiesferas de caucho para producir pelotas de tenis [27].

La ITF impuso reglas respecto a las medidas oficiales de las pelotas de tenis. “Las mismas deben tener un diámetro que oscile entre 65,41-68,58 mm y un peso de entre 56 y 59,4 g y además se contempla que el único color que puede utilizarse es amarillo con blanco para mejorar la visualización de los jugadores y también de los espectadores por televisión” [FIG_13] [27].



FIG_11: Sellado de ambas semiesferas de caucho [27].



FIG_12: Aplicación de adhesivo para la fibra de nailon [27].

La ITF además estipula que las pelotas de tenis deben rebotar entre 53 y 58 pulgadas de alto luego de ser lanzadas hacia un suelo de concreto desde una elevación de 100 pulgadas. Para lograr esta altura precisa de rebote, los fabricantes de pelotas de tenis agregan una cantidad muy específica de aire en el centro de las pelotas de tenis. En general, las pelotas son presurizadas a 12 libras psi. [27]



FIG_13: Aplicación de la cara exterior fibra de nailon [27].

Al comprar pelotas de tenis, las encontraremos envasadas en tubos de polímero sellados herméticamente con una presión de alrededor de 2 atmósferas que pretende hacer que lleguen en perfectas condiciones al momento de jugar con ellas. En general, estas pelotas duran unos 3 partidos antes de tener que desecharlas. En el mundo del tenis profesional, se utilizan en un máximo de 9 juegos, ya que, a partir de entonces, empiezan a calar pequeñas deformaciones en su superficie. [28]

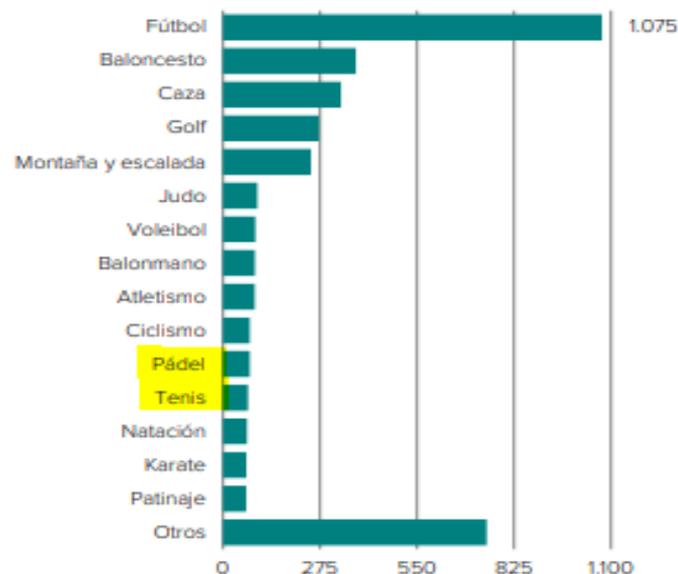
El reciclaje de pelotas es relevante puesto que cada persona puede llegar a utilizar más de 200 al año. “Por ejemplo, si juegas partidos de pádel o tenis 2 veces al mes, abrirás uno o dos botes de pelotas, cada uno de ellos conteniendo tres bolas. Si abres uno, 36 pelotas. Si abres dos botes al mes, 72. Estos números se disparan si se trata de jugadores profesionales o muy habituales”. [28]

Podemos emplearlas para estabilizar las patas de las sillas o evitar que rocen el suelo o para adornar manualidades. Gracias a estos segundos usos, podemos dar otra oportunidad a parte de los 300 millones de pelotas de tenis que se comercializan cada año antes de depositarlas en el contenedor gris, según datos de Ecovidrio. [28]

Es difícil cuantificar exactamente el número de jugadores totales de este deporte tanto profesional como de forma amateur y dictaminar con qué frecuencia lo practican y en qué superficie y demás parámetros.

Si lo trasladamos a España, podemos observar algunos datos del Anuario de Estadísticas Deportivas del Ministerio de Cultura y Deporte, resultando más sencilla dicha cuantificación, por ejemplo, según el número de fichas federativas de nuestro país, siendo el tenis junto al pádel el undécimo y duodécimo deporte con mayor cantidad [FIG_14]. [31]

Gráfico 8.4. Licencias federadas deportivas por federaciones. 2020
(En miles)



FIG_14: Gráfico licencias federativas por deportes en España.[31]

De la misma fuente podemos tomar los datos estadísticos de la cantidad de personas que practican deporte por modalidades semanalmente [FIG_15] en nuestro país fijándonos no sólo en los datos del tenis sino también de pádel y frontón o frontenis ya que dichas modalidades deportivas emplean la misma pelota para su práctica y por tanto contabilizarán igualmente en la cuantificación de nuestro residuo. Además de que dichos valores estadísticos se establecen en porcentaje a la población total.

11.4. Personas que practican deporte semanalmente según modalidades deportivas ⁽¹⁾*(En porcentaje de la población total)*

	TOTAL		Hombres		Mujeres	
	2010	2015	2010	2015	2010	2015
PRÁCTICA DEPORTIVA SEMANAL	100	100	100	100	100	100
Fútbol 11, 7 y sala	8,0	7,2	15,3	13,7	0,9	1,0
Baloncesto	2,2	1,9	3,5	2,6	0,9	1,2
Balonmano	0,5	0,6	0,6	0,8	0,3	0,4
Voleibol	0,4	1,0	0,6	1,0	0,3	1,1
Rugby	0,1	0,3	0,3	0,4	0,0	0,1
Frontón, frontenis	0,5	0,9	1,0	1,5	0,1	0,3
Petanca o bolos	0,2	0,4	0,5	0,5	0,0	0,3
Patinaje, monopatín	0,5	1,4	0,5	1,2	0,6	1,6
Ciclismo	6,7	10,3	10,3	15,3	3,2	5,5
Motociclismo	0,3	0,7	0,6	1,5	0,0	0,1
Automovilismo	0,0	0,1	0,1	0,3	0,0	0,0
Actividades aeronáuticas	0,1	0,1	0,1	0,2	0,0	0,0
Tenis	1,9	1,9	3,0	3,0	0,9	0,8
Ping pong	0,3	1,1	0,5	1,8	0,0	0,3
Pádel	1,7	3,7	2,7	5,5	0,6	1,9
Squash	0,2	0,3	0,4	0,4	0,0	0,1
Golf	0,4	0,3	0,7	0,5	0,0	0,1
Natación	7,6	8,4	7,7	8,0	7,6	8,7

FIG_15: Personas que practican deporte semanalmente según modalidad deportiva en España.[31]

Por tanto entre los datos de las fichas federativas y que entre las tres modalidades citadas anteriormente sumamos un total de 6,5 personas en porcentaje de la población total según las cifras de 2015, lo cual nos parece un dato significativo a tener en cuenta y con el que podemos concluir afirmando que el tenis, pádel y frontenis suponen unos de los deportes más practicados de forma regular en nuestro país con la consecuencia del residuo plástico sólido que constituyen las pelotas de tenis tras su uso.

Hemos podido observar como las pelotas de tenis forman parte de los residuos sólidos plásticos de la sociedad actual y su consumo; por tanto, en los últimos años, aparecen medidas para su reciclaje y reutilización, así como campañas que lo fomentan como por ejemplo puede ser la campaña #DOBLEREBOTE de Decathlon.

La compañía evita que el material de las pelotas desechadas por los usuarios termine en la naturaleza, y las convierte en materia prima reciclada con la que fabrican las suelas de sus chanclas. Contribuyendo al medio ambiente recuperando pelotas de tenis, frontenis, pádel y squash. [29]

Decathlon contribuye así a reducir el volumen de residuos a vertedero, las emisiones de dióxido de carbono y el uso de materias primas para la fabricación de chanclas, así como a crear conciencia entre los usuarios sobre la necesidad y los beneficios de la economía circular [FIG_16]. La compañía mantiene un firme compromiso con crecer de forma responsable con el medio ambiente mediante la utilización de materias primas recicladas y sostenibles. [29]

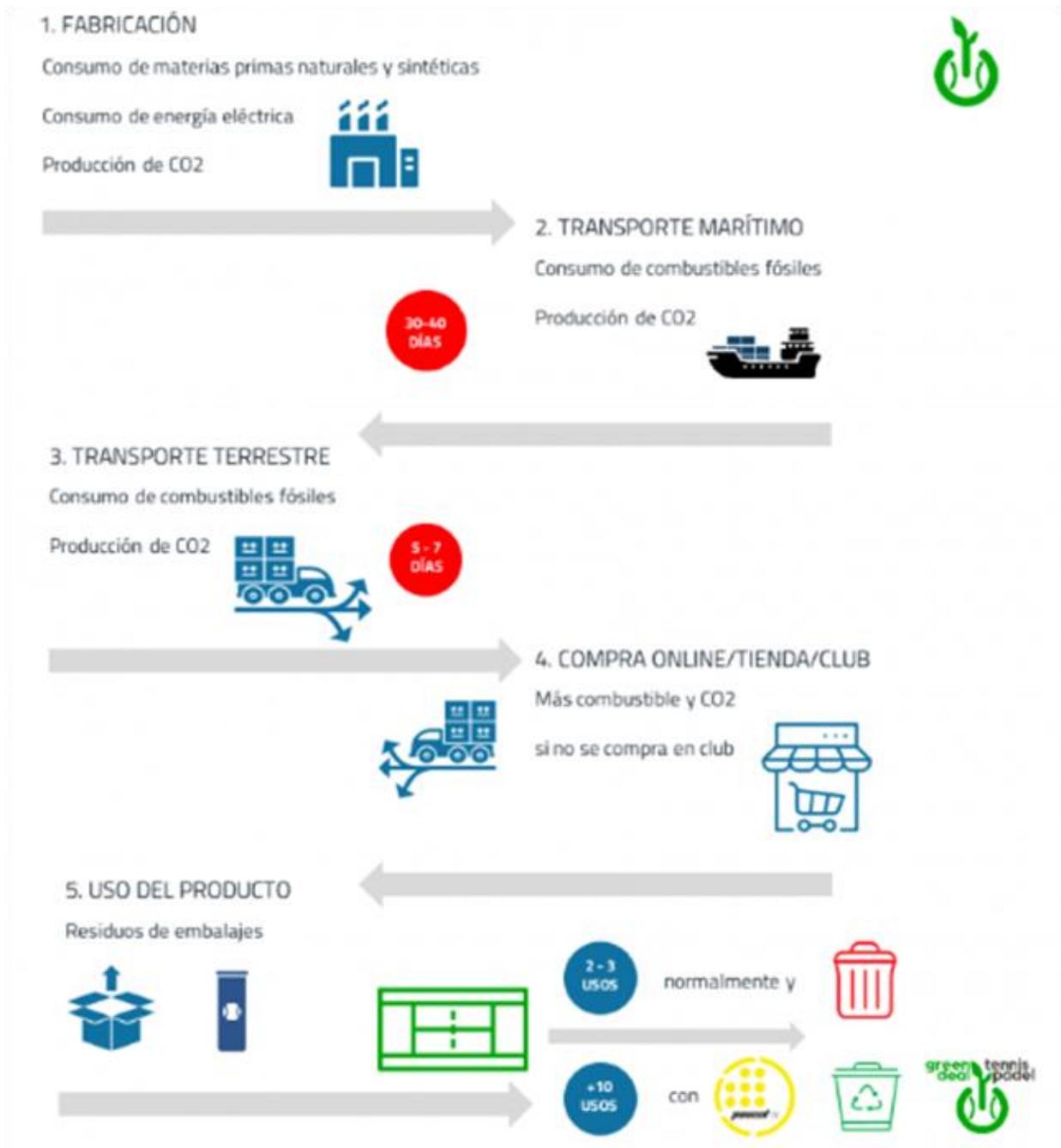


FIG_16: Contenedor para reciclaje pelotas de tenis #DOBLEREBOTE [29].

Usar un producto un par de veces y tirarlo a la basura cuando está en perfectas condiciones es un comportamiento irresponsable e ineficiente. Desperdiciamos materiales, energía, dinero y generamos residuos y contaminación de manera totalmente innecesaria. No damos ningún valor ni importancia a las pelotas, ni a todo lo que implica en cuanto a materiales, recursos y energía empleados en su fabricación y transporte. Y esas pelotas que desechamos todavía tienen un montón de vida útil ya que el caucho y la felpa están en perfectas condiciones. [30]

Otro dato interesante que obtenemos de esta misma fuente es la consideración de las emisiones de CO₂ provocadas como consecuencia directa del transporte de las pelotas de tenis una vez producidas, ya que se producen principalmente en el sudeste asiático para a continuación distribuirse globalmente primero a través de transporte marítimo y luego por transporte terrestre siendo estos medios logísticos los responsables del 27% del total de las emisiones de gases de efecto invernadero. [30]

Además de todo ello, cuando se acaba su vida útil, la gran mayoría de las pelotas termina en vertederos o incluso en nuestros bosques, mares y ríos. Contaminando nuestros ecosistemas con un residuo plástico el cual requiere de varios cientos de años para completar su degradación; siendo prácticamente inexistente su reciclaje o reutilización, salvo pequeñas iniciativas como hemos visto de algunas empresas como Decathlon o Pascalbox, pero ciertamente suponen un porcentaje muy pequeño respecto al número total de pelotas de tenis que se producen y consumen a nivel mundial y que desafortunadamente tienen una vida útil tan corta.



FIG_17: Ciclo de vida de las pelotas de tenis [30].

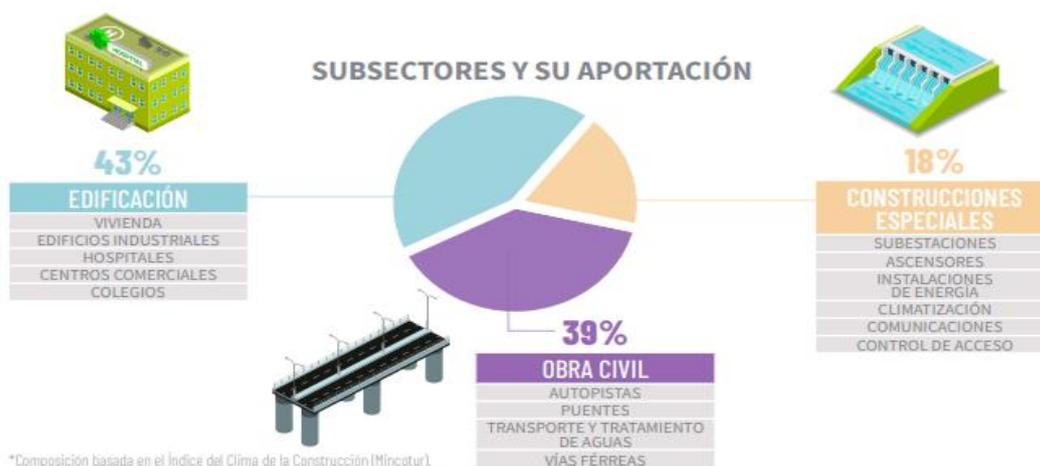
Por tanto, para completar y comprender la implicación de la pelota de tenis con residuo debemos considerar todos los factores asociados que intervienen en su ciclo de vida [FIG_17], desde la fabricación, hasta que se desechan cuando no son aptas para el juego, incluyendo el transporte, tanto marítimo como terrestre y de distribución. Gracias a los datos que hemos recopilado de Ecovidrio [28], y del análisis de ciclo de vida de Pascal Box [30] podemos realizar una cuantificación aproximada de las emisiones de CO₂ que generan la producción mundial de pelotas de tenis anualmente.



FIG_18: Emisiones CO₂ pelota de tenis. Ciclo de vida.[30]

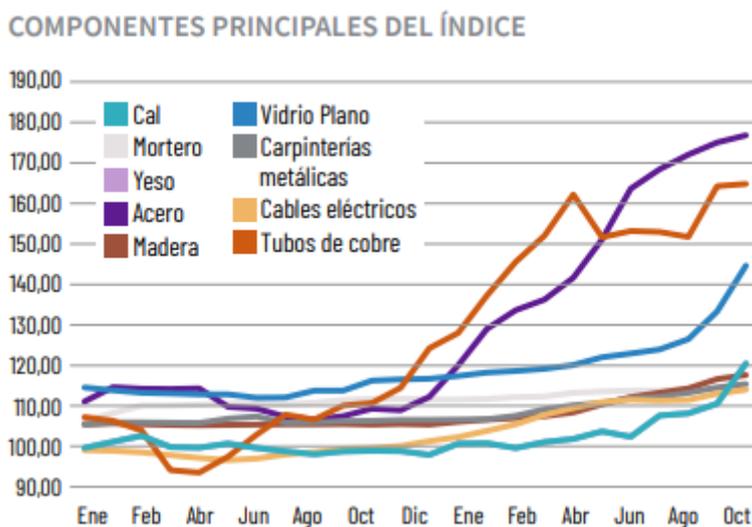
Puesto que la huella ecológica de la producción de pelotas de tenis tiene unas emisiones de 4kg de CO₂ por cada 1Kg de producto producido, siendo la relación de 4:1 [FIG_18]. Y dado que Ecovidrio estima la producción mundial de pelotas de tenis en 300 millones anualmente, si tomamos como peso medio de una pelota de tenis 57gr, obtendremos como resultado la cifra de 68400 toneladas de CO₂ emitidas anualmente por un producto con una vida útil corta ya que en el mejor de los casos es de 3 partidos de tenis ya que al perder sus propiedades deja de ser apta para el juego y por tanto su uso.

Finalmente, y dado el conocimiento de los datos y parámetros actuales de los que disponemos, podemos ser más conscientes de lo que suponen el desarrollo de ciertas actividades productivas como pueden ser el sector de la edificación y obra civil [FIG_19]. Sabiendo cómo su desempeño supone altos gastos de energía y consumo de materias primas. En concreto en España, dicho sector tiene una gran relevancia llegando a suponer el 5,7% del PIB en 2020 [32].



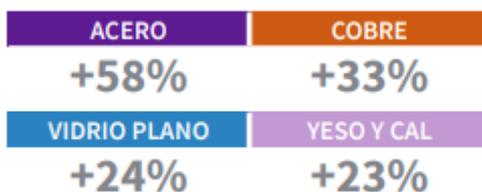
FIG_19: Porcentaje de sectores de la construcción en España.[32]

También podemos observar como el yeso es uno de los materiales más utilizados en la construcción en nuestro país y la evolución y aumento de la cantidad de yeso [FIG_20] utilizado para todas aplicaciones.” Esta situación afecta en mayor medida a las empresas vinculadas al subsector de edificación. En las constructoras de viviendas la transferencia del incremento en costes en contratos resulta más complicada que en otros subsectores.” [32].



FIG_20: Principales materiales empleados en la construcción en España. [32]

Tampoco debemos olvidar el aspecto económico de los materiales ya que, pese a que el yeso no sea un material excesivamente caro, las mediciones que puede tener en un edificio pueden ser elevadas dadas las grandes superficies de aplicación que puede llegar a abarcar. Además, a ello hay que sumarle el hecho de que el yeso y la cal son la cuarta materia prima que más han incrementado su precio en el último año, hasta un 23% [FIG_21] [32].



FIG_21: Material primas con mayor incremento de precio en España. [32]

Si a todo ello le sumamos el hecho de que el sector de la construcción supone uno de los de mayor gasto y consumo energético a nivel productivo y de ciclo de vida, nosotros como futuros arquitectos tenemos un papel con un grado de implicación y responsabilidad elevado en todos estos temas. Por tanto, en este trabajo de investigación y aplicación teórica a un caso práctico debemos marcarnos unos objetivos que sean efectivos, viables y realistas para abarcar todos estos temas que hemos estudiado para dar nuestra aportación a este amplio estado de la cuestión.

3. OBJETIVOS

3.OBJETIVOS

Debemos determinar unos objetivos generales y específicos, de manera que podamos acotar el ámbito de estudios de nuestro trabajo, ya que de lo contrario sería inabarcable al no tener unos límites establecidos.

Comenzaremos por determinar unos objetivos generales estableciendo el marco referencial de TFG para a partir de ahí estrechar el campo de estudio a un carácter más específico en referencia al caucho sintético y a la fibra de nylon.

Todo ello nos ayudará a marcar una línea definida de trabajo para no perder el rumbo de la finalidad de nuestra investigación en este trabajo.

3.1. OBJETIVOS GENERALES

- Estudio de materiales plásticos reciclados como sustitutivos de materiales convencionales tanto en construcciones de edificación y obra civil.
- Elegir un residuo compuesto por materiales plásticos en base a los estudios previos realizados.
- Determinar y ejecutar un plan experimental para producir un material compuesto con la sustitución por material plástico reciclado.
- Proponer un producto fabricado con el material compuesto caracterizado en el estudio.
- Realizar una comparativa del material propuesto respecto al material tradicional correspondiente.

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estudiar la producción y consumo del caucho sintético y la fibra de nylon, así como su papel y aplicaciones en el sistema de producción industrial actual.
- Investigar el proceso de obtención y reciclado de nuestro material plástico y sus beneficios de carácter medioambiental, energético y económico.
- Analizar estudios previos de utilización de materiales plásticos residuales como sustitutivos materiales en morteros de cemento y de yeso para obtener una hipótesis de partida.
- Comparar las posibles mejoras de las propiedades ya sean mecánicas, acústicas y/o térmicas en base al porcentaje de sustitución de material.
- Proponer un producto o elemento constructivo teniendo como base nuestro nuevo material compuesto resultante.

4. HIPÓTESIS DE PARTIDA

4. HIPÓTESIS DE PARTIDA

Una vez que hemos recopilado la información de los diferentes estudios previos con mezclas tanto de caucho, como de fibras de nailon, nos resulta fácil extraer conclusiones y parámetros comunes siendo similares en lo que a resistencia mecánica, propiedades térmicas y acústicas se refiere. Partiendo de estos datos, tenemos la capacidad de adelantar ciertos acontecimientos y realizar conjeturas sobre el comportamiento aproximado que podrían llegar a tener nuestras muestras. De este modo podremos llegar a proponer un producto idóneo para ser empleado dentro del sector de la edificación y obra civil como sustitutivo de los ya existentes que se emplean actualmente de manera tradicional.

A priori, todo hace indicar que conseguiremos un nuevo material compuesto de menor densidad que el material de referencia al sustituir el yeso por el aditivo de las pelotas de tenis trituradas, lo cual es un factor muy relevante a la hora de llevar a cabo una propuesta de un producto donde el peso sea diferencial a nivel estructural o como material de relleno.

De igual forma todo apunta que a nivel térmico se obtendrían una mejora de las propiedades del nuevo compuesto a mayor porcentaje de sustitución del aditivo, lo cual nos brinda un mayor rango de posibilidades en su aplicación ya sea como aislante térmico o como componente en elementos masivos, mejorando su comportamiento térmico. [21] [24]

Respecto al aislamiento acústico, se ven mermadas las reducciones al ruido aéreo, por lo que el aislamiento acústico no parece el mejor de los usos para nuestro nuevo conglomerado. [21]

Debemos aclarar que, en la propuesta de un nuevo producto aplicado a la edificación y obra civil, tendremos en cuenta otros parámetros más allá de las propiedades físicas estudiadas. Éstos otros factores serían parámetros de carácter económicos, de disponibilidad y tratamiento del residuo, entre otros. También se prestará especial atención al posible proceso de industrialización para la producción del producto en masa y su viabilidad respecto a los procesos tradicionales y la obtención de materias primas de primera generación; y cómo todo ello encajaría en el mercado actual y su impacto en el mismo.

Para finalizar respecto al valor ecológico de nuestra propuesta deberemos considerar no sólo el impacto de una reducción de residuos plásticos sólidos, sino también el gasto energético asociado a la producción de estos materiales como son el caucho y las fibras de nailon, así como prolongar la vida útil más allá de la que originalmente tenía. Al mismo tiempo, al sustituir parte del yeso por nuestro residuo estamos reduciendo el consumo del primero contribuyendo a su menor producción y reduciendo también la emisión de gases de efecto invernadero. Al emplear una menor cantidad de yeso, también reducimos el consumo de agua asociada ya que ésta es directamente proporcional según el porcentaje establecido.

5. METODOLOGÍA DE TRABAJO

5. METODOLOGÍA DE TRABAJO

El proceso de investigación de un nuevo material constructivo, requiere una gran cantidad de ensayos, que nos ayudará a la caracterización de dicho material, en los que nos vamos a regir por las normas UNE-EN, donde se queda recogido el procedimiento que debemos seguir. Por lo tanto, se van estudiar las propiedades mecánicas en el mortero de yeso, llevándonos todo esto a la obtención de un nuevo material.

Para poder precisar el comportamiento de un nuevo material a lo largo de su vida útil y que podamos definir posibles usos, tendremos que obtener información y datos a través de la investigación y realizando de los ensayos mencionados, que nos permitan prevenir sus defectos y posibles mejoras para poder adaptarse a más ámbitos, en la composición de yeso-pelotas de tenis.

El procedimiento metodológico llevado en la investigación del trabajo:

1. Análisis bibliográfico y estudio de información actual, con el objetivo de tener unos conocimientos previos con la finalidad de elaborar un análisis contextualizado y justificado.
2. Realización de ensayos previos a laboratorio en el material de residuo añadido.
3. Realización de probetas y ensayos en laboratorio, según las normas UNE-EN.
4. Recopilación y procesado de los datos obtenidos en ensayos.
5. Aplicación del producto a un caso práctico.
6. Análisis, comparación y conclusión.

El primer paso para esta investigación será la realización de una búsqueda y análisis de la información existente respecto al tema que se va estudiar. Esta indagación se hace desde lo más global, donde estudiamos los grandes problemas que se generan en la generación de residuos contaminantes, centrándonos en uno de los residuos de mayor cantidad como es el plástico. Hasta lo más particular. En este caso serían los componentes de las pelotas de tenis y su composición nociva para el medioambiente. Para la fase de experimentación y búsqueda de referencias de investigación, se indagan sobre otro estudio realizado anteriormente que contengan los materiales nuevos que integramos nosotros en la mezcla que en nuestro caso sería el caucho sintético y el nailon.

Paralelamente, se comenzó a experimentar con el material, haciendo una serie de muestras para ver cuál sería la granulometría indicada para la elaboración de las probetas y conseguir una mejor distribución del residuo conglomerante, de forma que su estructura, comportamiento y apariencia nos hizo decantarnos por los ensayos mecánicos.

Una vez tomada la decisión anterior se procede a la elaboración de las probetas y a continuación son sometidas a ensayos mecánicos. Tras obtener los datos de las diferentes probetas con las distintas proporciones, se procede a la comparación entre ambas para ver los puntos fuertes o débiles que tiene cada mezcla realizada para plantear un producto constructivo con ella.

6. PLANTEAMIENTO EXPERIMENTAL

6.1. INTRODUCCIÓN METODOLÓGICA, NORMATIVA DE REFERENCIA

Una vez analizada la realidad sobre los residuos generados por los materiales en estudio que forman parte de la investigación, como son el caucho y el nailon presentes en las pelotas de tenis, decidimos realizar una batería analítica con el fin de conocer los compuestos contaminantes de los que están compuestos y así hacer una conjetura de cómo estos funcionan como aditivo en el yeso.

Nuestro objetivo como se ha descrito anteriormente, es reutilizar (dar una segunda vida) los materiales contaminantes en cuestión como elementos en la construcción. Para ello hemos recurrido a las normativas vigentes con el fin de que los ensayos tengan un respaldo científico y experimental. En nuestro caso se trata de ensayos mecánicos.

Las normas reguladoras a las que hemos recurrido son:

UNE-EN 933-1:2012. *Ensayos para determinar las propiedades geométricas de los áridos. Parte 1: Determinación de la granulometría de las partículas. Método del tamizado* [17]. Se utiliza dicha normativa para llevar a cabo una granulometría mediante tamizado, indispensable para una correcta caracterización de la muestra del residuo tratado que vamos a utilizar.

UNE-EN 13279-1:2009. *Yesos de construcción y conglomerantes a base de yeso para la construcción. Parte 1: Definiciones y especificaciones* [18]. Esta norma especifica las características y las prestaciones del yeso de construcción.

UNE 102042:2014. *Yesos y escayolas de construcción. Otros métodos de ensayo* [19]. Se emplea la normativa para la determinación de la densidad aparente del yeso.

UNE-EN 13279-2:2014. *Yesos de construcción y conglomerantes a base de yeso para la construcción. Parte 2: Métodos de ensayo* [20]. Se usa la normativa para ver las características mecánicas del material mediante ensayos a resistencia. Estos ensayos se realizan tanto a flexión como a compresión, y los datos obtenidos son comparados con la probeta de referencia sin aditivos.

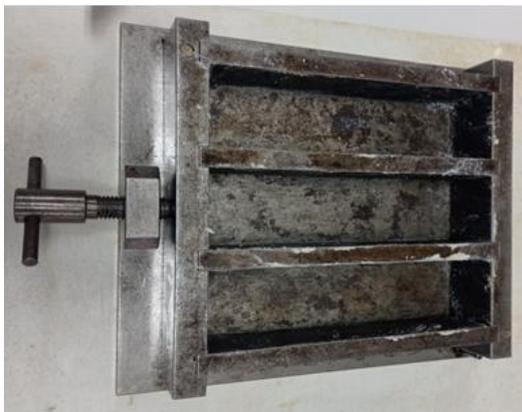
Los resultados obtenidos de los distintos ensayos, nos llevará a la determinación de las características y composición del material definitivo que utilizaremos como material de construcción.

6.2. PROBETAS. ADAPTACIÓN A LOS ENSAYOS, DOSIFICACIONES

Comenzamos por determinar las dimensiones de las probetas que vamos a utilizar para los ensayos, ya que de esta forma podremos adaptar el tratamiento del residuo para introducirlo en la mezcla, así como su forma, escala, dosificación de sustitución en peso y el volumen ocupado por la muestra.

Las probetas tienen una forma de prisma dado que se van a utilizar para realizar ensayos mecánicos en ellas y sus dimensiones son de 40x40x160mm, cuyos moldes han sido facilitados por el laboratorio de Construcciones Arquitectónicas de la Escuela Técnico Superior de Arquitectura [FIG_22]. Estas dimensiones generan un volumen que nos dan una primera aproximación del tamaño que debe tener el residuo con el que vamos a sustituir y por tanto deberemos procesarlo previamente para que tengan una escala adecuada para introducirlo en la probeta.

Para concretar las dosificaciones que emplearemos, tomamos una réplica del molde de las probetas y llenamos el 100% de su volumen [FIG_23] con la muestra teniendo un peso de 109 gr. siendo esto un 34,06% del peso de la probeta de yeso, a partir de dicho dato nos decantamos por usar unas dosificaciones de sustitución del 4%, 8% y 12%.



FIG_22: Molde de las probetas.

FIG_23: Réplica del molde llena de aditivo

% Adicción	Peso residuo por probeta (gr)	Peso yeso por probeta (gr)	Peso agua por probeta (gr)
REF 0%	0	320	176
4 %	12,8	307,2	168,96
8 %	25,6	294,4	161,92
12 %	38,4	281,6	154,88

TABLA_01: Dosificaciones por probetas. Fuente: Elaboración propia

En función de estos datos se han determinado de forma aproximada el número de pelotas, teniendo en cuenta que se aprovechará el 95% de ellas, para cada una de las baterías de seis probetas y porcentaje de residuo utilizado.

Este último dato nos da la información de la cantidad de pelotas utilizadas y por tanto el volumen de residuo que estaríamos reciclando.

% Adicción	Peso residuo total probetas (gr)	Peso yeso total probetas (gr)	Peso agua total probetas (gr)	Aprox nº de pelotas de tenis
REF 0%	0	1920	1056	0
4 %	76,8	1843,2	1013,76	1,42
8 %	153,6	1766,4	971,52	2,84
12 %	230,4	1689,6	929,28	4,26
TOTAL	460,8	7219,2	3970,56	8,51

TABLA_02: Dosificaciones totales de probetas y sumatorios. Fuente: Elaboración propia

6.3. PROCESOS PREVIOS A LA ELABORACIÓN DE LAS PROBETAS EN EL LABORATORIO

Antes de acudir al laboratorio debemos realizar un procesado de las muestras que vamos a emplear en los ensayos. Hemos decidido trabajar con un mismo modelo de pelota de tenis para lograr la mayor homogeneidad a la muestra y que todas las probetas se compongan exactamente de los mismos materiales.

La pelota elegida es Artengo TB 160 del fabricante "Decathlon". El procedimiento comienza cortando las pelotas en dos hemisferios, posteriormente en cuartos de esfera y a continuación hemos cortado tiras. Finalmente hemos cortado éstas con un tamaño aproximado de 6 mm ya que ha sido la menor dimensión de triturado que hemos podido conseguir con un corte manual con tijeras y cúter [FIG_24]. El resultado del residuo tratado son muestras con forma de pequeños prismas más o menos cúbicos.



FIG_24: Procedimiento de corte de las pelotas de tenis

Una vez en el laboratorio se lleva a cabo una granulometría acorde a la normativa para áridos UNE-EN 933-1:2012, para hacer una correcta caracterización de la muestra del residuo tratado que vamos a utilizar. Los tamices utilizados [FIG_25] para dicha granulometría son de luz 8mm, 6,3mm, 5mm, 4mm, y 2mm. Como se observa en la tabla y gráfica de columnas adjuntas [TABLA_03], la gran mayoría no pasan por el tamiz de luz 6,3mm.



FIG_25: Tamices utilizados para la granulometría.



FIG_26: Proceso de tamizado

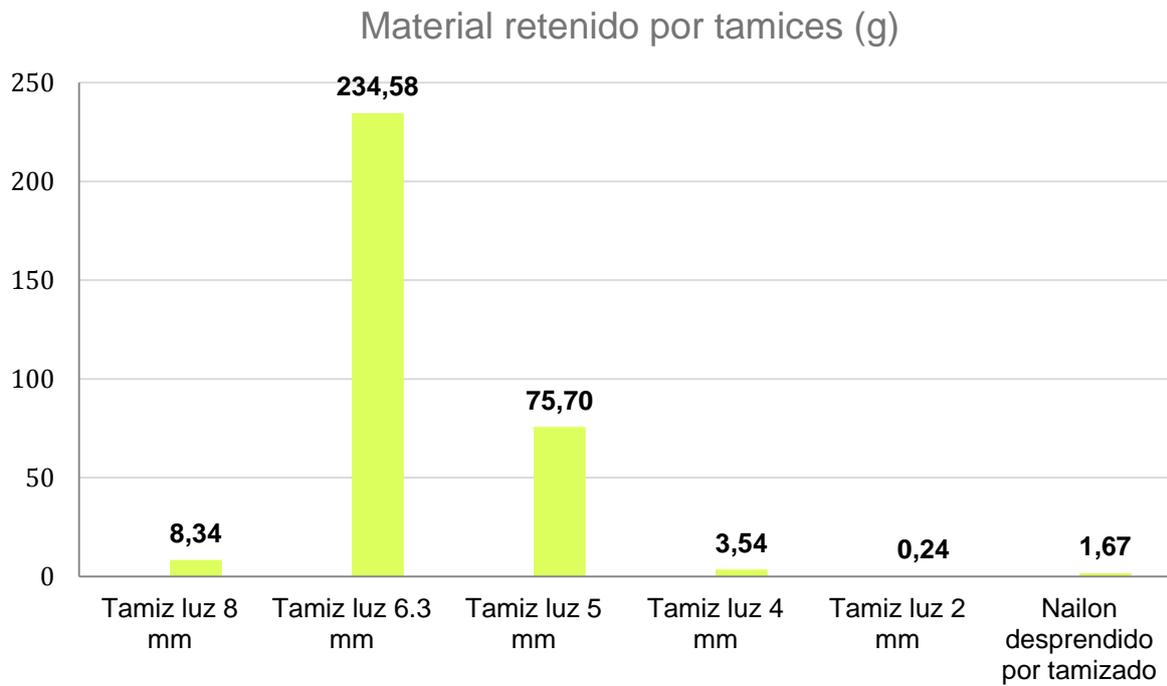
Una vez llevado a cabo el proceso de tamizado, tomamos la cantidad de residuo que queda en cada uno de los tamices, realizamos su pesaje y así podemos calcular la cantidad porcentual de residuo retenido para cada tamiz obteniendo los siguientes resultados:

Material total cortado y preparado (gramos)	499,93
Material utilizado para la granulometría (gramos)	324,09
Material no utilizado para la granulometría (gramos)	175,84

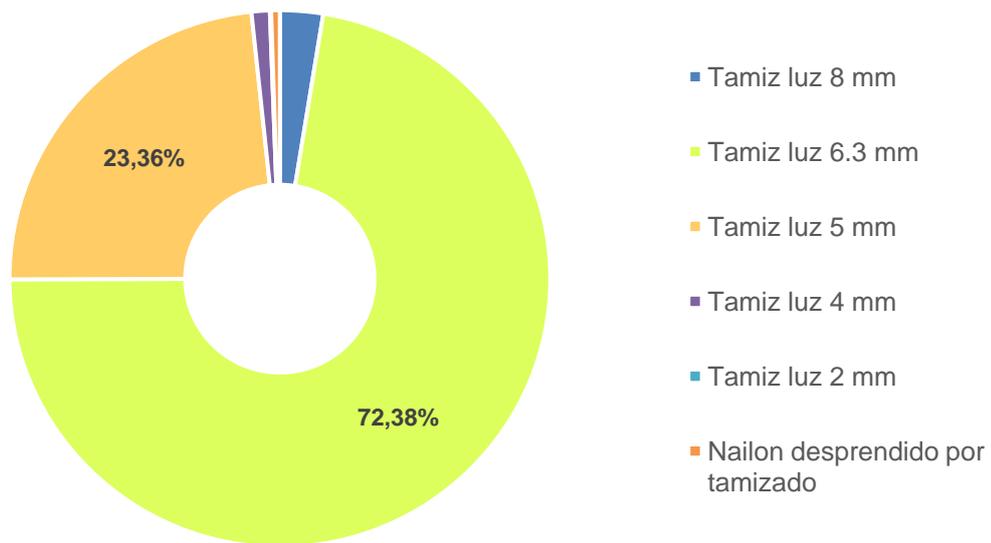
Material retenido por tamices	Gramos	%
Tamiz luz 8 mm	8,34	2,57
Tamiz luz 6.3 mm	234,58	72,38
Tamiz luz 5 mm	75,70	23,36
Tamiz luz 4 mm	3,54	1,09
Tamiz luz 2 mm	0,24	0,07
Nailon desprendido por tamizado	1,67	0,52

Total peso neto (sin nailon)	322,40
Total peso bruto (con nailon)	324,07

Material retenido por tamices	%
Tamiz luz 8 mm	2,57
Tamiz luz 6.3 mm	95,74
Tamiz luz 5 mm	
Tamiz luz 4 mm	1,17
Tamiz luz 2 mm	



Material retenido por tamices (%)



TABLA_03: Datos granulometría mediante tamices. Fuente: Elaboración propia

Como podemos observar según los datos recopilados el 72,38% del peso del residuo caracterizado ha quedado retenido en el tamiz de 6.3mm siendo el de mayor porcentaje, de igual manera podemos observar como el segundo porcentaje más alto con un 23,36% del peso retenido es el tamiz de 5mm. Por tanto, el 95,74% de la muestra representativa se

encuentra retenido por los tamices de 6.3mm y 5mm pudiendo tomar estos valores como valores medios del tamaño de nuestro residuo tratado, mediante corte manual.

También realizamos una caracterización del peso unitario de la muestra, es decir cuánto pesa un trozo del residuo tratado. Para ello realizaremos una serie de mediciones con la báscula de precisión en el laboratorio del Departamento de Física de la ETSA. Decidimos pesar 20 piezas aleatorias de la muestra y realizar la media de éstas. Primero 5 piezas por separado, luego 5 piezas juntas y finalmente se pesan las 20 piezas a la vez.

Nº de muestras	Peso en g	Peso medio en g
1	0,1897	
1	0,1113	
1	0,1268	
1	0,1356	
1	0,1416	
5	0,7050	0,1410
20	2,8486	0,1424



TABLA_04: Caracterización del peso precisión

FIG_27: Mediciones con báscula de

De esta manera podemos determinar que el peso medio unitario de nuestro residuo tratado mediante corte manual es de 0,14 g. Con este dato complementario podríamos trasladarlo para calcular en número medio de residuos que tenemos en cada probeta o acorde a los datos de densidad aparente, contando de esta manera con otro parámetro o valor unitario de la mezcla.

Como conclusión, con la recopilación de estos datos en los procesos previos a la elaboración de probetas en el laboratorio consideramos que queda perfectamente definida la caracterización del residuo que vamos a emplear en nuestros ensayos, así como sus propiedades, morfología y tratamiento del mismo.

6.4 PROCESO DE ELABORACIÓN DE PROBETAS EN LABORATORIO

Una vez que ya hemos caracterizado todos los materiales que constituirán las probetas del ensayo mecánico, y en base a todos los procesos previos a la ejecución de las mismas, nos ratificamos en los porcentajes de sustitución que habíamos elegido previamente, ya que nos parecen correctos y coherentes (4%, 8% y 12%).

Nombre	% Adicción	Peso de residuo (g)	Peso del yeso (g)	Peso del agua(g)
REF	0	0	1920	1056
Y/T4	4	76,8	1843,2	1013,76
Y/T8	8	153,6	1776,4	971,52
Y/T12	12	230,4	1689,6	929,28

TABLA_05: Dosificaciones totales de probetas. Fuente: Elaboración propia

La elaboración de las mezclas para las probetas ha sido realizada de forma manual y propia en la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Sevilla, en el laboratorio de Construcciones Arquitectónicas, donde tenemos unas condiciones ambientales no controladas de 20 o 25° C. Emplearemos todo el material necesario para fabricarlas, balanza de precisión, instrumentos medidores, recipiente de mezcla, moldes de probetas, desencofrante y el propio yeso.



FIG_28: Equipo y materiales. Laboratorio de Construcción de la ETSA.

Como paso previo al amasado, lo primero que debemos hacer es aplicar desencofrante en todas las superficies de los moldes de las 18 probetas de ensayo mecánico, junto a las 6

probetas de referencia o control sin ningún sustitutivo. No aseguramos que la cara de las probetas son planas para ellos nos ayudamos de una espátula que permite eliminar el material sobrante, así evitamos fallos durante los ensayos.



FIG_29: Molde de las probetas tras la aplicación del desencofrante

Teniendo en cuenta las cantidades calculadas en el apartado 6.2, se comienza con la medición de pesaje de cada uno de los materiales, tendremos como matriz conglomerante el yeso (B1/50/2), agua y residuo. En primer lugar, humedecemos las muestras de residuo ya que anteriormente hemos comprobado que tiene cierta capacidad de absorción de agua, a continuación, añadimos la muestra humedecida al yeso y comenzamos el amasado al mismo tiempo que vertimos el resto del agua de manera progresiva, sin parar de amasar la mezcla que conseguir una mayor homogeneidad y no tener aglomeraciones. Este proceso de amasado no deberá prolongarse más de 2 o 3 minutos, ya que la velocidad de endurecimiento del yeso es bastante rápida y es importante que esto no se produzca hasta que la masa no llegue a los moldes. En la mezcla con el porcentaje del 12% se ha realizado con mayor rapidez que las demás debido al rápido endurecimiento de la mezcla.



FIG_30: Materiales pesados para la mezcla de yeso y residuos de pelotas de tenis.

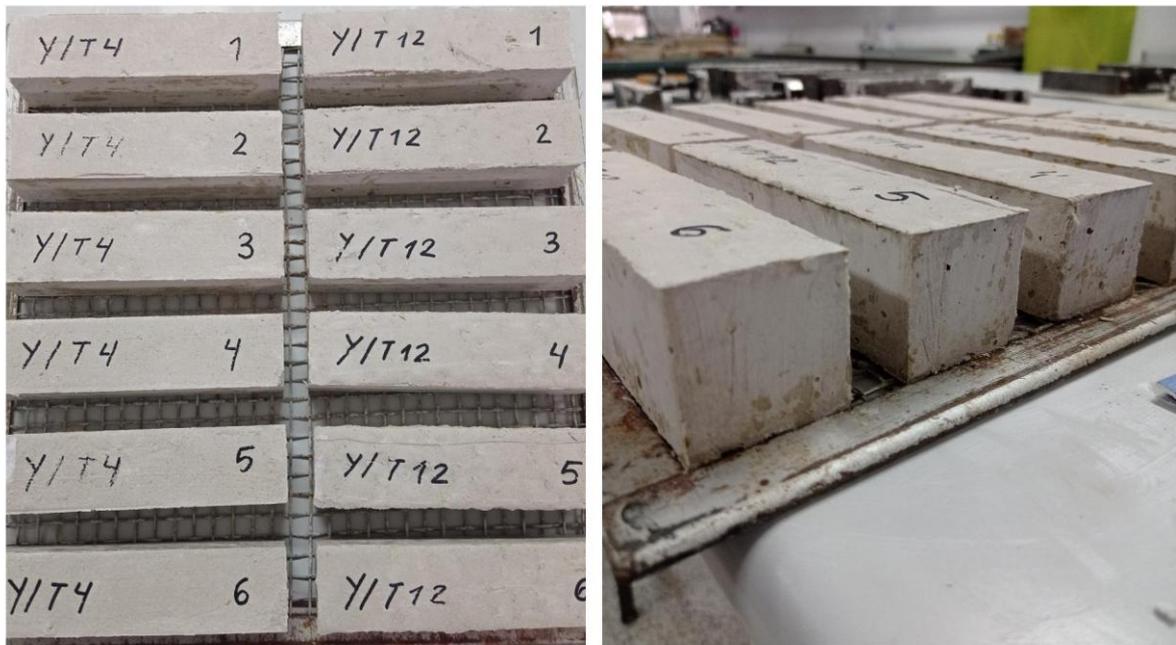
Comenzamos a verter la mezcla en los moldes, en primera instancia hasta aproximadamente la mitad de su volumen, con la ayuda de una espátula y un par de golpes a modo de vibrado; garantizamos que se está rellenando correctamente la geometría completa de la probeta. Repetimos el mismo procedimiento rellenando la totalidad del volumen de las probetas, para respetar el volumen y geometría de la probeta enrasamos con la pala la cara superior eliminando el excedente y ejecutando así una cara lisa.



FIG_31: Proceso de mezcla de los materiales y vertido en el molde de las probetas.

De forma análoga realizaremos el resto de probetas en sus tandas con sus correspondientes dosificaciones. El proceso de ejecución ha sido relativamente sencillo dado que el comportamiento de la muestra de residuo utilizada era similar al de un árido en la mezcla.

Dejamos los moldes identificados, y unas horas más tarde el yeso ha fraguado lo suficiente como para realizar un correcto desmolde de las probetas, marcando cada una de ellas con su correcta identificación.



FIG_32: Desmolde de las probetas y marcado correspondiente.

A partir de este momento las probetas de yeso pasarán al proceso de secado que será de 7 días en una atmósfera a una temperatura de $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ y una humedad relativa de $50 \pm 5\%$, de acuerdo con la Norma UNE-EN 13279-2:2014. Después se mantendrán 2 días en estufa a una temperatura de 40°C hasta alcanzar su peso seco antes de realizar los ensayos de rotura.

Consideramos que los resultados finales de las muestras obtenidas en el laboratorio son satisfactorios, ya que tenemos un resultado final previo al ensayo en el que las probetas contienen todas las caras planas y no muestran fisuras tras el secado.

6.5 ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN

6.5.1 ENSAYOS DE DENSIDAD APARENTE

Una vez las probetas desencofradas y secadas, se va desarrollar el ensayo de caracterización de densidad aparente. Según la norma que lo rige, UNE 102042:2014, consiste en la relación entre el volumen y el peso seco, incluyendo huecos y poros que contenga aparentes o no. En definitiva, la densidad aparente en seco se calcula dividiendo la masa de la probeta en kg entre el volumen de esta en m³. Aunque en nuestro caso lo expresaremos en una unidad equivalente como es el gr/ cm³.

a. Metodología

Para conocer los datos de densidad, las probetas son pesadas con una balanza de precisión para tener referencias lo más exactas posibles, siendo estos datos proporcionados por el Laboratorio de Construcción de la ETSAS. El análisis de los datos consiste principalmente en la comparación de las probetas con 0% de aditivo, respecto a las que sí tiene añadido el residuo.

En teoría todas las probetas deberían tener el mismo volumen siendo éste el del molde para la elaboración de las mismas, sin embargo, esto no ocurre así en la realidad; por tanto, decidimos tomar las medidas de cada una de las probetas con mayor precisión para calcular el volumen real de cada una de ellas y de este modo obtener una densidad aparente más exacta.



FIG_33: Medida de precisión de las dimensiones de las probetas.

Efectivamente, podemos evidenciar que mientras en el sentido de las caras recogidas por el molde la dimensión de 40mm se mantiene, no ocurre lo mismo en la otra dirección, ya que una de las caras queda al descubierto por la tipología del propio molde utilizado. A pesar de haber prestado especial atención al enrasado de la cara superior de las probetas, existen pequeñas variaciones dimensionales y en consecuencia cada probeta tiene un volumen determinado.

Este hecho nos parece coherente dadas las hipótesis de partidas con lo ensayado en los procesos previos a la elaboración de las probetas, ya que estamos sustituyendo la misma cantidad de peso con un aditivo de menor densidad y por tanto el volumen no podría ser el mismo.

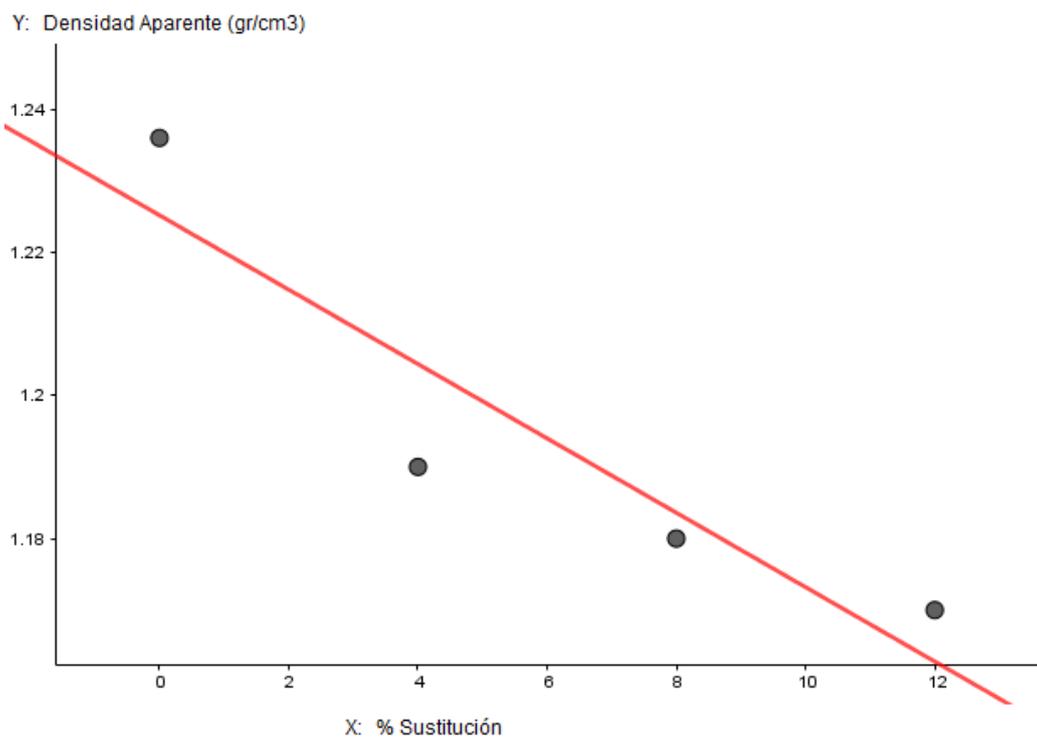
b. Resultados

PROBETAS		PESO (g) 48h 40°C	Volumen teórico(cm3)	VOLUMEN REAL(cm3)	DENSIDAD APARENTE (g/cm3)
REF 0%	1	316,42	256	257,28	1,230
	2	315,29	256	258,57	1,219
	3	320,24	256	258,56	1,239
	4	317,95	256	255,59	1,244
	5	316,52	256	254,72	1,243
	6	316,80	256	255,36	1,241
	media				1,236
YT/4	1	311,37	256	263,69	1,181
	2	311,10	256	264,52	1,176
	3	312,05	256	261,13	1,195
	4	313,23	256	259,20	1,208
	5	311,72	256	261,12	1,194
	6	308,78	256	259,84	1,188
	media				1,190
YT/8	1	316,34	256	262,41	1,206
	2	311,84	256	265,62	1,174
	3	316,27	256	264,99	1,194
	4	313,16	256	263,07	1,190
	5	312,72	256	264,98	1,180
	6	312,71	256	263,04	1,189
	media				1,186
YT/12	1	313,68	256	270,11	1,161
	2	310,65	256	268,83	1,156
	3	316,73	256	266,28	1,189
	4	313,72	256	266,24	1,178
	5	316,78	256	264,96	1,196
	6	314,41	256	264,98	1,187
	media				1,177

TABLA_06: Densidad aparente. Fuente: Elaboración propia

c. Análisis de resultados

Decidimos no descartar ninguna de las probetas, ya que no detectamos ningún valor anómalo, ni tampoco interfiere la homogeneidad de la mezcla, su disposición o la ejecución de la propia probeta; ya que las probetas contienen la correcta dosificación más allá de ligeras variaciones dentro de un mismo porcentaje que hace que no todas las probetas sean idénticas. De este modo como sólo tomamos los valores de peso y volumen de cada una de ellas realizas con precisión todos los valores obtenidos en los resultados son válidos, por tanto, tomaremos la media de las densidades aparentes de cada porcentaje. Estos datos quedan revalidados al representarlos con una regresión lineal y obtener un alto coeficiente de correlación [GRÁFICA_03] entre densidad aparente y porcentaje de sustitución. Tal y cómo se muestra en la siguiente gráfica:



Coeficiente de correlación: 0.9207 $y = -0.0052x + 1.22$
 GRÁFICA_03: % Sustitución – Densidad aparente. Elaboración propia..

En base a los resultados obtenidos podemos sacar algunas conclusiones como que la densidad aparente va disminuyendo a medida que aumentamos el porcentaje de adicción del compuesto, lo cual tiene sentido ya que nuestro residuo de adicción es menos denso que el yeso al que está sustituyendo, como era una de nuestras hipótesis de partida previa a realizar este ensayo y por tanto podemos afirmar que el nuevo material es más ligero al tener una densidad menor que el de referencia.

6.5.2 ENSAYOS MECÁNICOS

Las probetas utilizadas anteriormente en el ensayo de densidad aparente serán sometidas al ensayo de comportamiento mecánico a flexión y posteriormente a compresión.

El proceso de ejecución de estos ensayos se encuentra definidos en la normativa UNE EN-13279-2:2014. Dentro de la cual se encuentra la UNE EN-196:2018. “Métodos de ensayos de cementos. Parte 1: Determinación de resistencias mecánicas”, donde se describe detenidamente el procedimiento a seguir en ambos casos en los ensayos de flexión y compresión.



FIG_34: Prensa multiensayo. Laboratorio de Construcción de la ETSA.

Estos procesos de ejecución de los ensayos mecánicos, así como la manipulación de la prensa y el software será supervisado y asistido por las técnicas del Laboratorio de Construcción de la ETSA.

6.5.2.1 RESISTENCIA A FLEXIÓN

Las probetas de yeso son sometidas al ensayo que está destinado a determinar la resistencia a flexión, mediante el uso de una prensa multiensayo, con una carga en tres puntos distintos hasta alcanzar un valor de rotura establecido por la norma UNE, comentado anteriormente.

a. Metodología

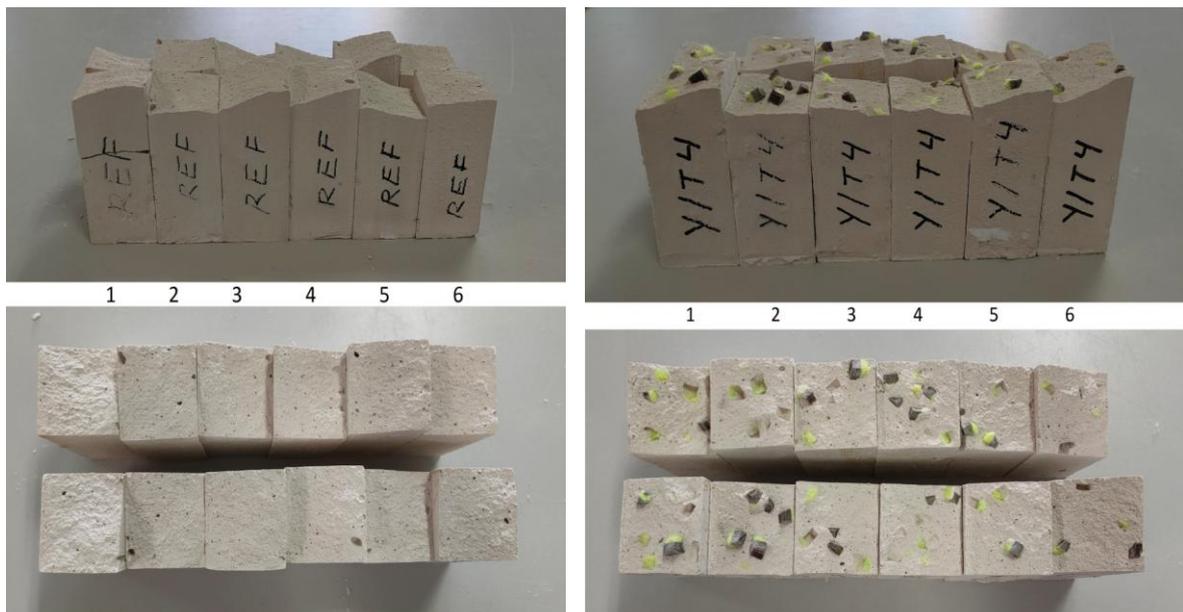
El ensayo de resistencia a flexión es denominado como “Ensayo de tres puntos” y que consiste en aplicar hasta una carga máxima de 10 KN a una velocidad de (50 ± 10) N/s, de forma que obtengamos la rotura que se produzca entre 30 y 90 segundos, cumpliendo con la norma UNE EN-196:1:2018.

Para ejecutar el ensayo se ha utilizado una prensa multiensayo de 300 KN del Laboratorio de Construcciones Arquitectónicas de la ETSA. La prensa es de Codein S.L. modelo MCO-30. Este aparato funciona con un software que controla la fuerza que se ejerce sobre las probetas de yeso y nos proporciona los datos de rotura de estas guardadas en su base de datos.

La prensa cuenta con tres rodillos de acero, dos rodillos de apoyo (con una separación de 100 mm según norma UNE) y un tercero de carga que se encuentra en el punto medio de los dos, busca evitar el esfuerzo de torsión y una distribución uniforme de la carga, aspectos que ayudarán a obtener datos más precisos.

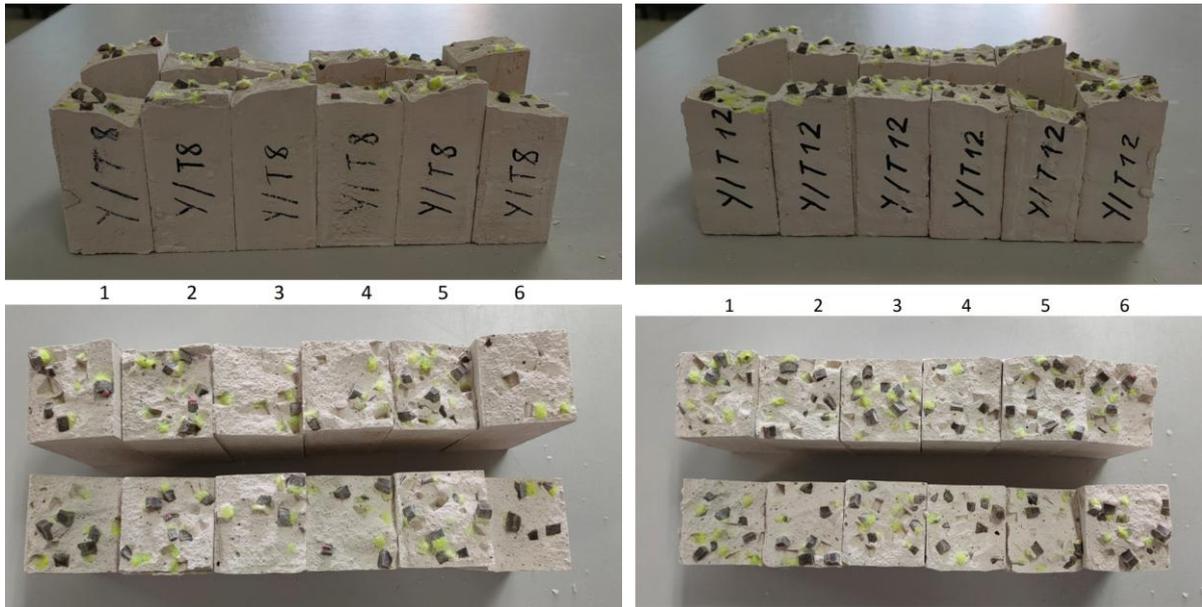
El paso previo de realizar el ensayo es asegurarnos que las probetas han sido curadas correctamente según normas UNE. Qué ha consistido en el curado de 9 días a atmósfera de laboratorio y un posterior secado en la estufa de laboratorio durante 2 días. Así como terminar comprobando que no existe ningún tipo de irregularidad entre los rodillos y las probetas y se procede a someterlas a rotura.

Una vez que se ha realizado este ensayo y las probetas estén rotas debemos conservar las dos mitades para posteriormente someterlas al ensayo de compresión.



FIG_35: Probetas de referencia tras rotura en ensayo de resistencia a flexión.(izquierda)

FIG_36: Probetas con dosificación 4% tras rotura en ensayo de resistencia a flexión.(derecha)



FIG_37: Probetas con dosificación 8% tras rotura en ensayo de resistencia a flexión.(izquierda).

FIG_38: Probetas con dosificación 12% tras rotura en ensayo de resistencia a flexión.(derecha)

Una vez obtenido los resultados de la máquina, es necesario calcular la resistencia final de la probeta a flexión N/mm², ya que los datos que obtenemos de la máquina son la carga de rotura (t/s). Para ellos utilizamos la siguiente fórmula $f = 1,5 \cdot (F \cdot l / b \cdot d^2)$ donde b y d son la altura y anchura de las probetas respectivamente y F-l la carga por longitud entre apoyos. Esta fórmula nos da la resistencia final de probeta a flexión en N/mm².

b. Resultados

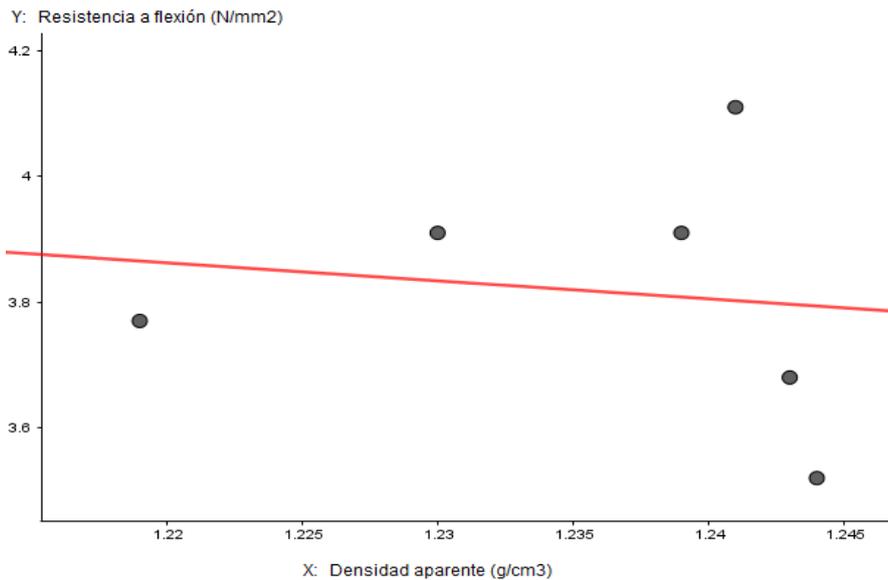
Una vez recopilamos los datos del laboratorio y realizando las conversiones de unidades de los ensayos a flexión obtenemos la siguiente tabla:

PROBETA	DENSIDAD APARENTE (gr/cm ³)	10 Kgf /s FLEXIÓN (TF)	Flexión (Ff) (N)	Distancia entre soportes (mm)	RESISTENCIA A FLEXIÓN (N/mm ²)	
REF 0%	1	1,230	0,170	1.667,13	100	3,91
	2	1,219	0,164	1.608,29	100	3,77
	3	1,239	0,170	1.667,13	100	3,91
	4	1,244	0,153	1.500,42	100	3,52
	5	1,243	0,160	1.569,06	100	3,68
	6	1,241	0,179	1.755,39	100	4,11
Y/T4	1	1,181	0,153	1.500,42	100	3,52
	2	1,176	0,143	1.402,35	100	3,29
	3	1,195	0,170	1.667,13	100	3,91
	4	1,208	0,141	1.382,74	100	3,24
	5	1,194	0,164	1.608,29	100	3,77
	6	1,188	0,130	1.274,86	100	2,99
Y/T8	1	1,206	0,126	1.235,64	100	2,90
	2	1,174	0,121	1.186,60	100	2,78
	3	1,194	0,117	1.147,38	100	2,69
	4	1,190	0,094	921,83	100	2,16
	5	1,180	0,127	1.245,44	100	2,92
	6	1,189	0,123	1.206,22	100	2,83

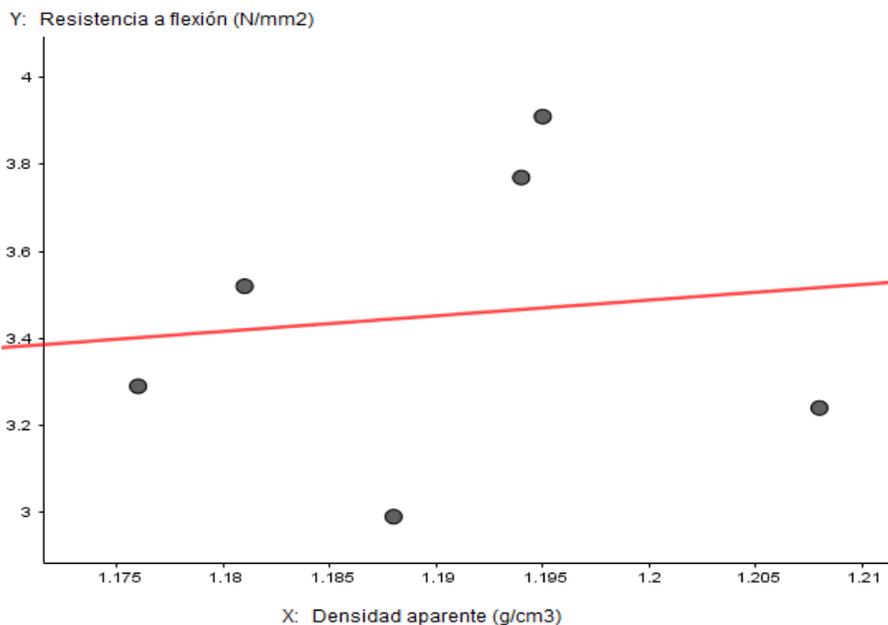
Y/T12	1	1,161	0,123	1.206,22	100	2,83
	2	1,156	0,114	1.117,96	100	2,62
	3	1,189	0,126	1.235,64	100	2,90
	4	1,178	0,114	1.117,96	100	2,62
	5	1,196	0,104	1.019,89	100	2,39
	6	1,187	0,121	1.186,60	100	2,78

TABLA_07: Resistencia a flexión. Fuente: Elaboración propia.

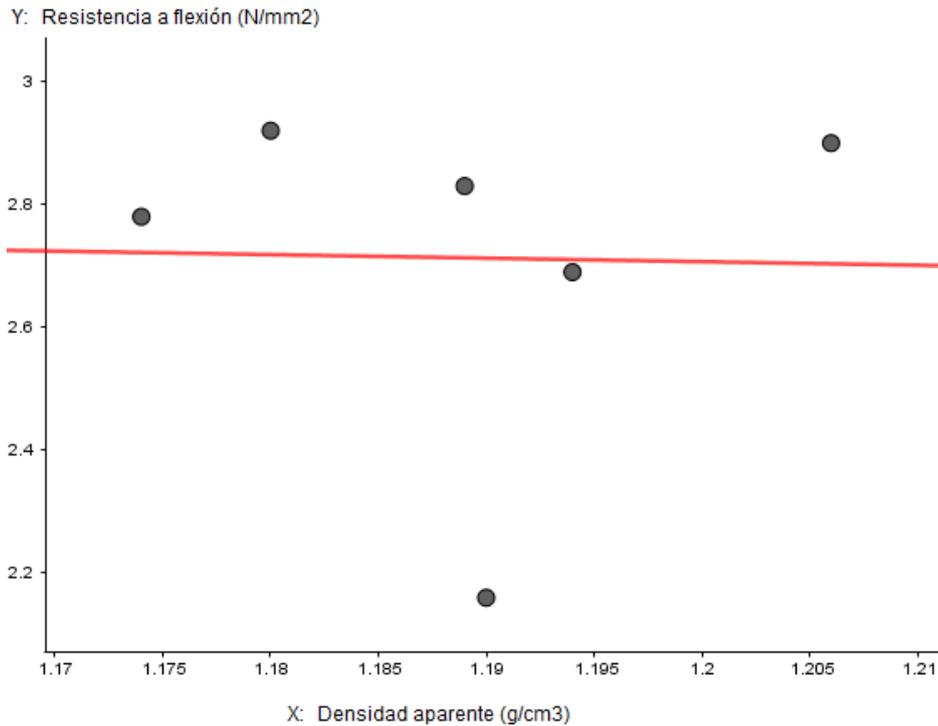
Respecto a los resultados obtenidos, vamos a representarlos gráficamente frente a los valores de densidad aparente, expresados en el apartado anterior, de cada una de las probetas. De esta forma vamos a proceder a la elaboración de gráficas para cada uno de los porcentajes de sustitución, pudiendo así vislumbrar la correlación que guardan entre sí e identificando aquellas probetas que no guardan relación y considerando su posible descarte posteriormente para el análisis de datos.



GRÁFICA_04: Probetas de referencia. Densidad-Resistencia a flexión. Elaboración propia.

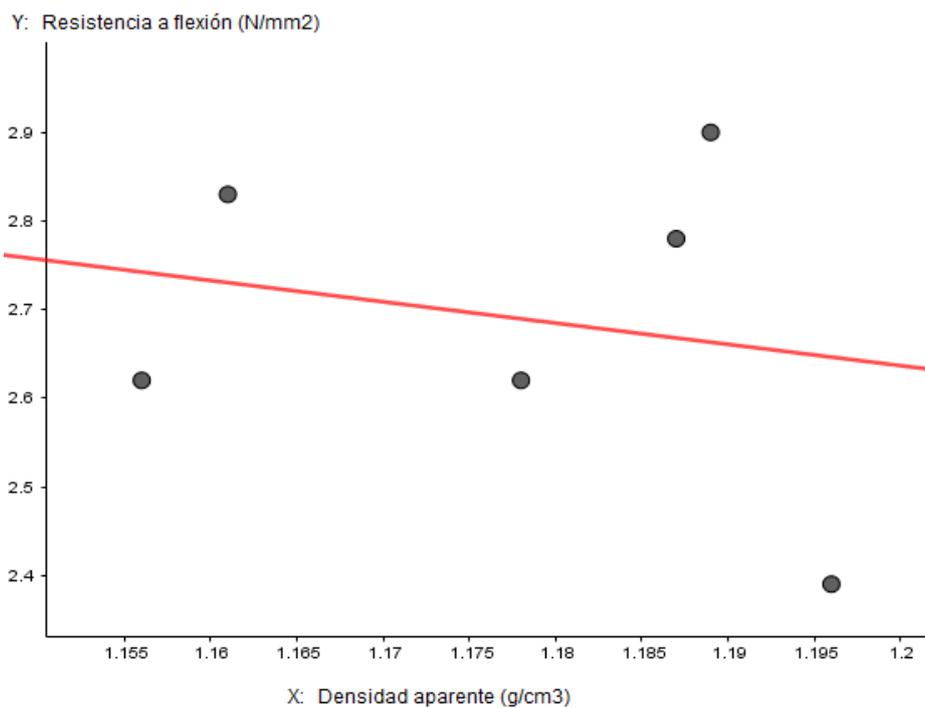


GRÁFICA_05: Probetas 4%. Densidad-Resistencia a flexión. Elaboración propia.



Coefficiente de correlación: 0.0226 $y = -0.57x - 3.4$

GRÁFICA_06: Probetas 8%. Densidad-Resistencia a flexión. Elaboración propia.



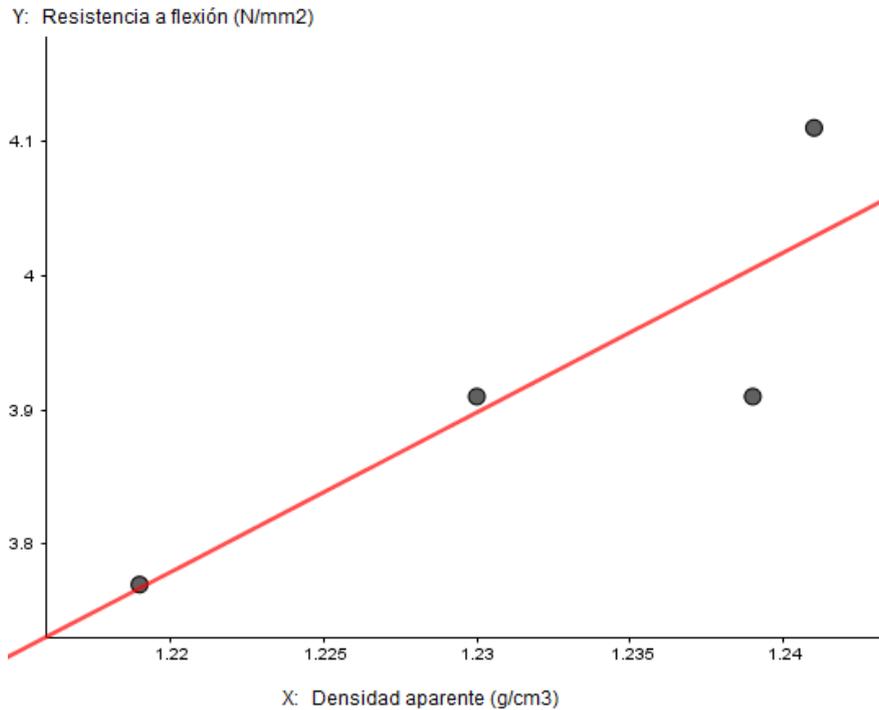
Coefficiente de correlación: 0.209 $y = -2.4x + 5.52$

GRÁFICA_07: Probetas 12%. Densidad-Resistencia a flexión. Elaboración propia.

Se puede observar en la simple representación de los datos recogidos en los resultados y previo análisis que aparentemente no existe o es prácticamente nula la correlación entre variables.

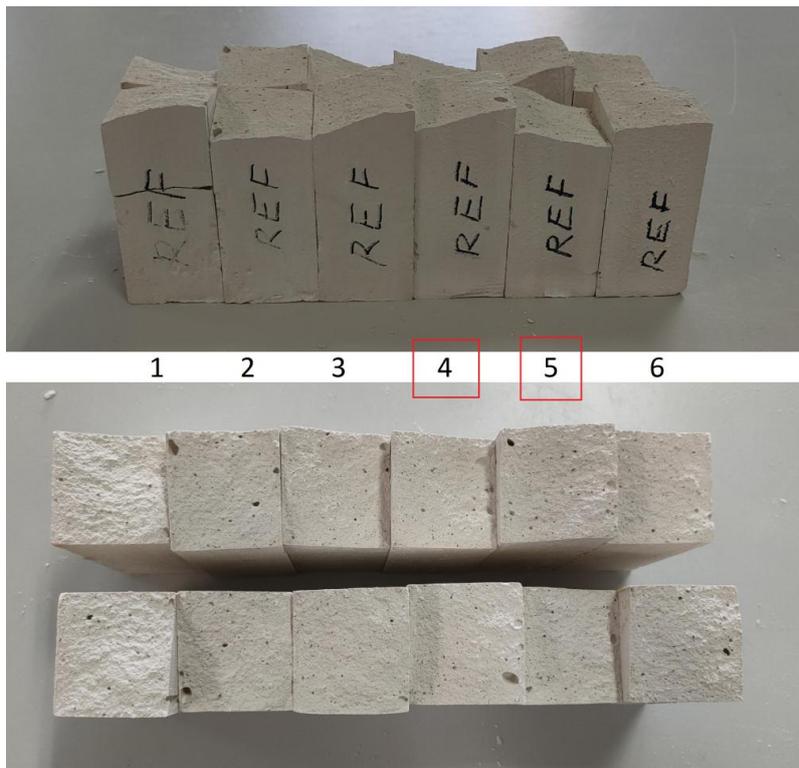
c. Análisis de resultados

Analizando los resultados, conseguimos obtener un mayor coeficiente de correlación entre la densidad aparente y la resistencia a flexión para cada uno de los distintos porcentajes de sustitución, descartando algunos datos según diversas consideraciones en el análisis ya que se tratan de valores no favorecen a la correlación numérica ya sea por causa de una anomalía o particularidad concreta de esa probeta y/o su ejecución:

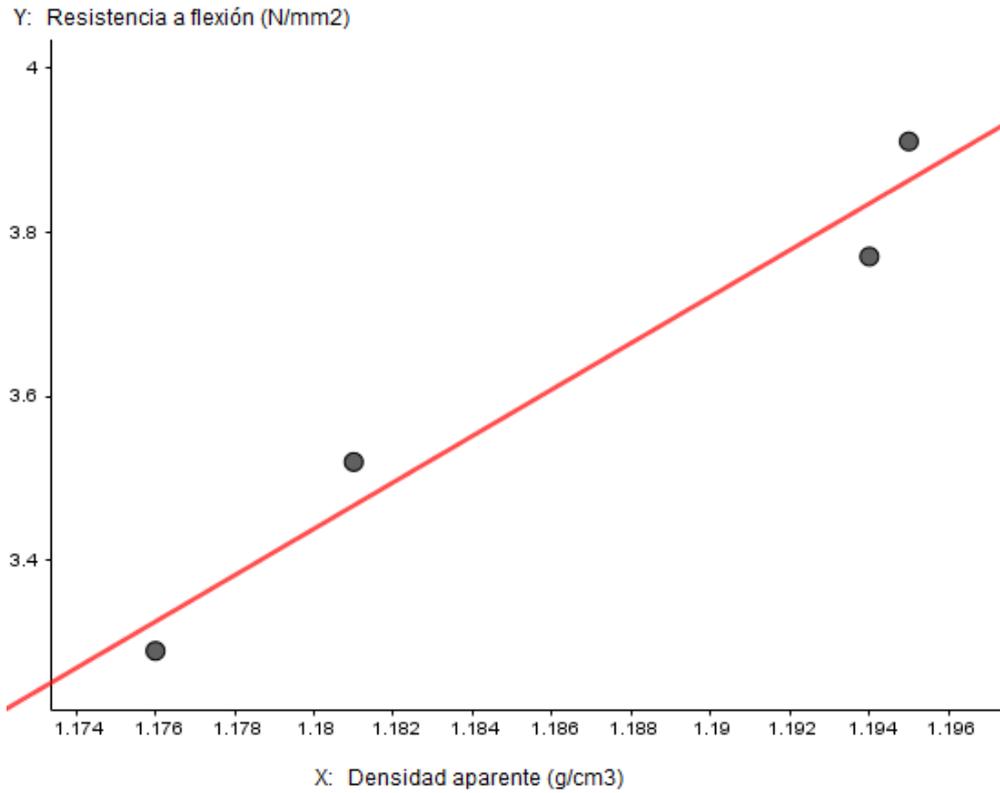


Coeficiente de correlación: 0.8652 $y = 11.91x - 10.75$

GRÁFICA_08: Probetas de referencia Analizadas. Densidad-Resistencia a flexión. Elaboración propia.



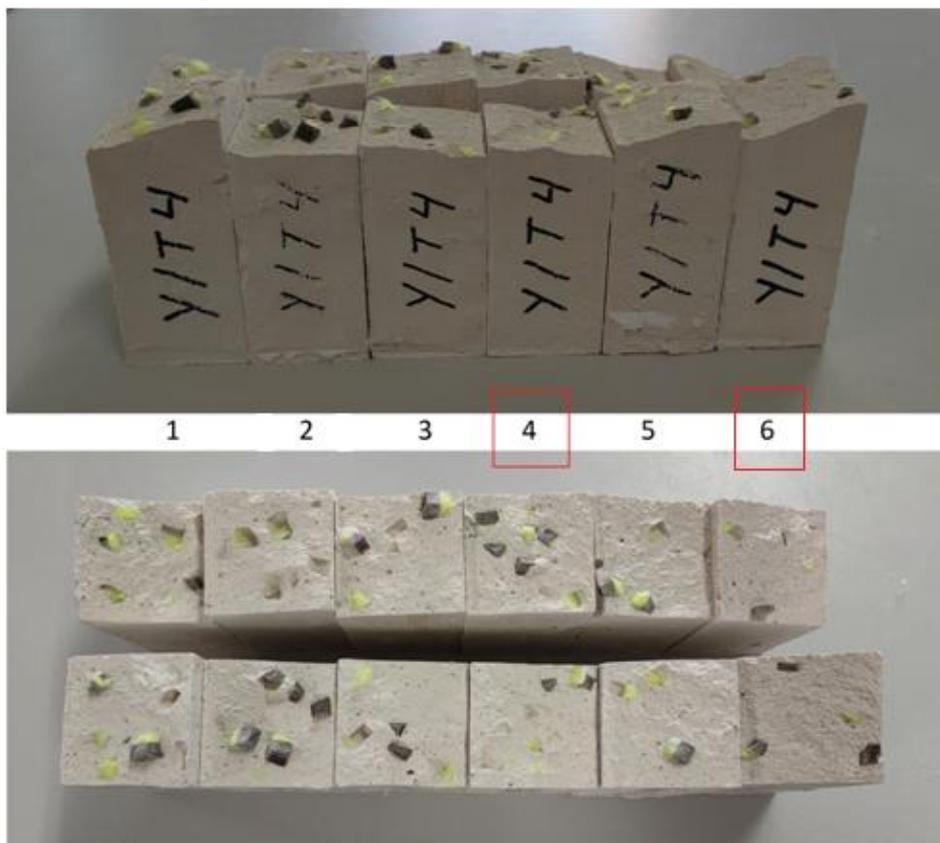
FIG_35: Probetas de referencia tras rotura en ensayo de resistencia a flexión.



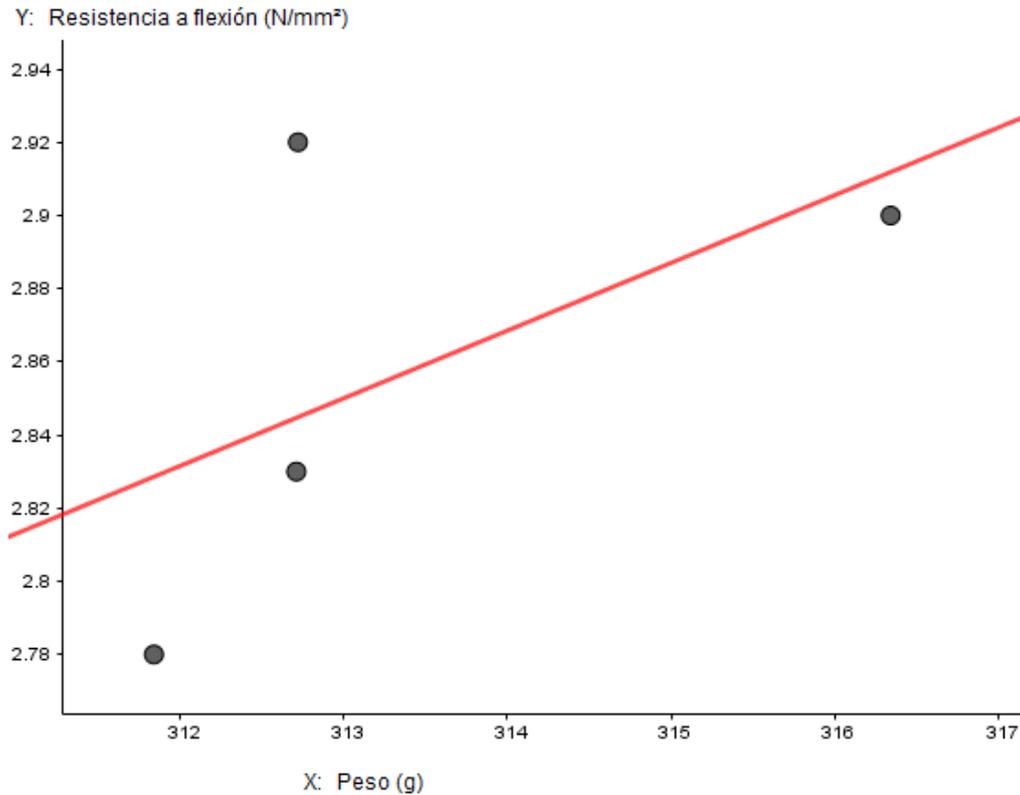
Coefficiente de correlación: 0.9765

$$y = 28.27x - 29.92$$

GRÁFICA_09: Probetas 4% Analizadas. Densidad-Resistencia a flexión. Elaboración propia.



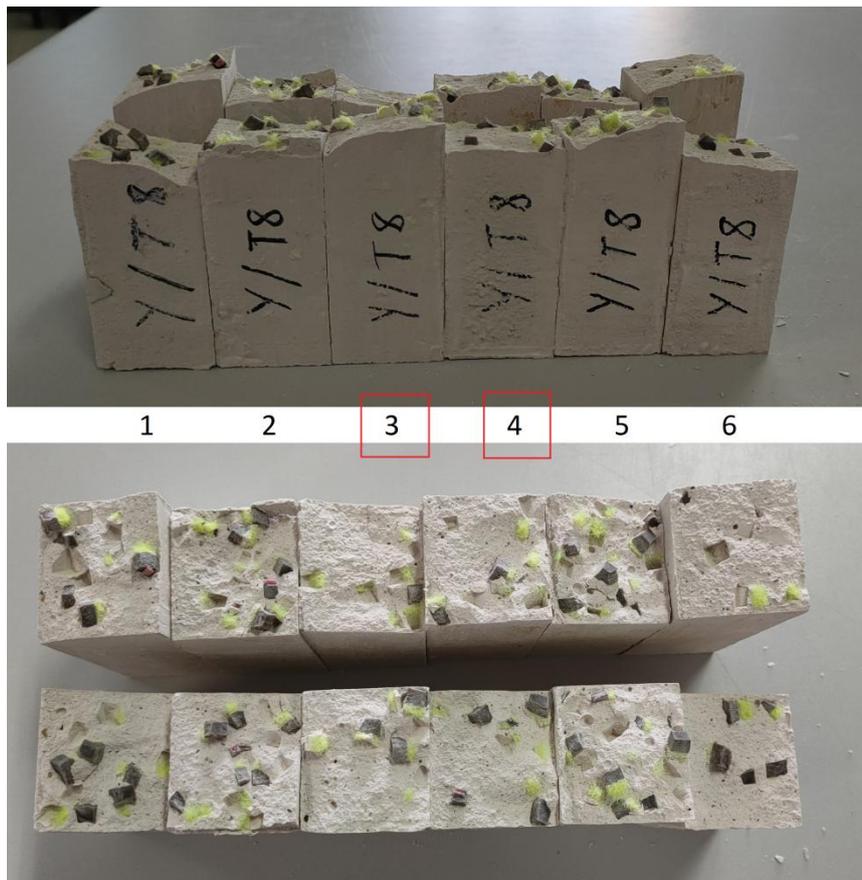
FIG_36: Probetas con dosificación 4% tras rotura en ensayo de resistencia a flexión.



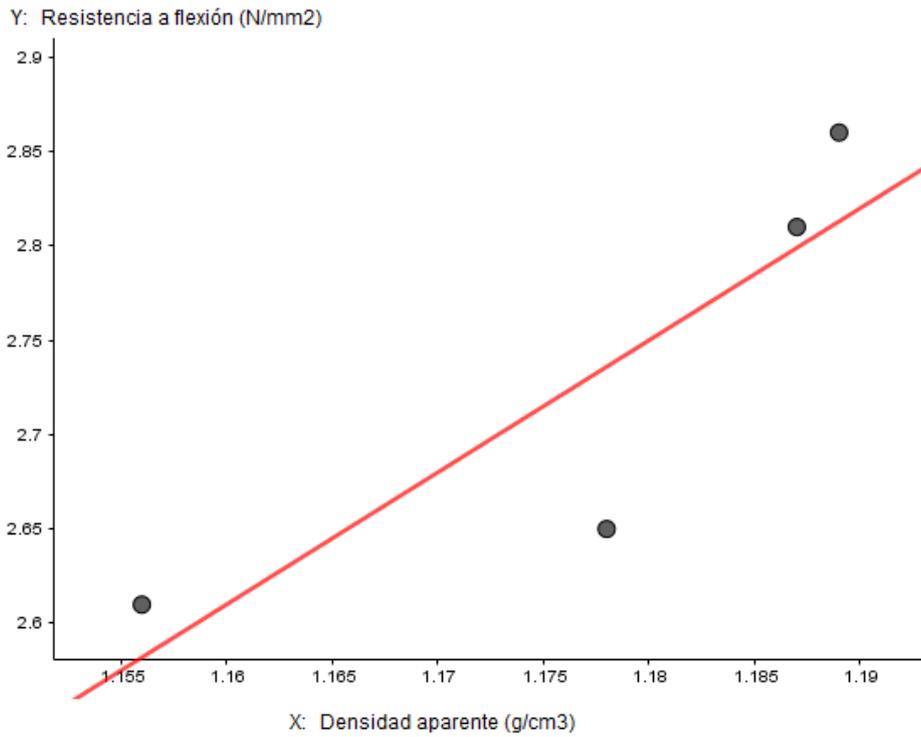
Coefficiente de correlación: 0.4905

$$y = 2.27x - 0.16$$

GRÁFICA_10: Probetas 8% Analizadas. Densidad-Resistencia a flexión. Elaboración propia.



FIG_37: Probetas con dosificación 8% tras rotura en ensayo de resistencia a flexión.



Coefficiente de correlación: 0.8727 $y = 7x - 5.51$

GRÁFICA_11: Probetas 12% Analizadas. Densidad-Resistencia a flexión. Elaboración propia.



1 2 3 4 5 6



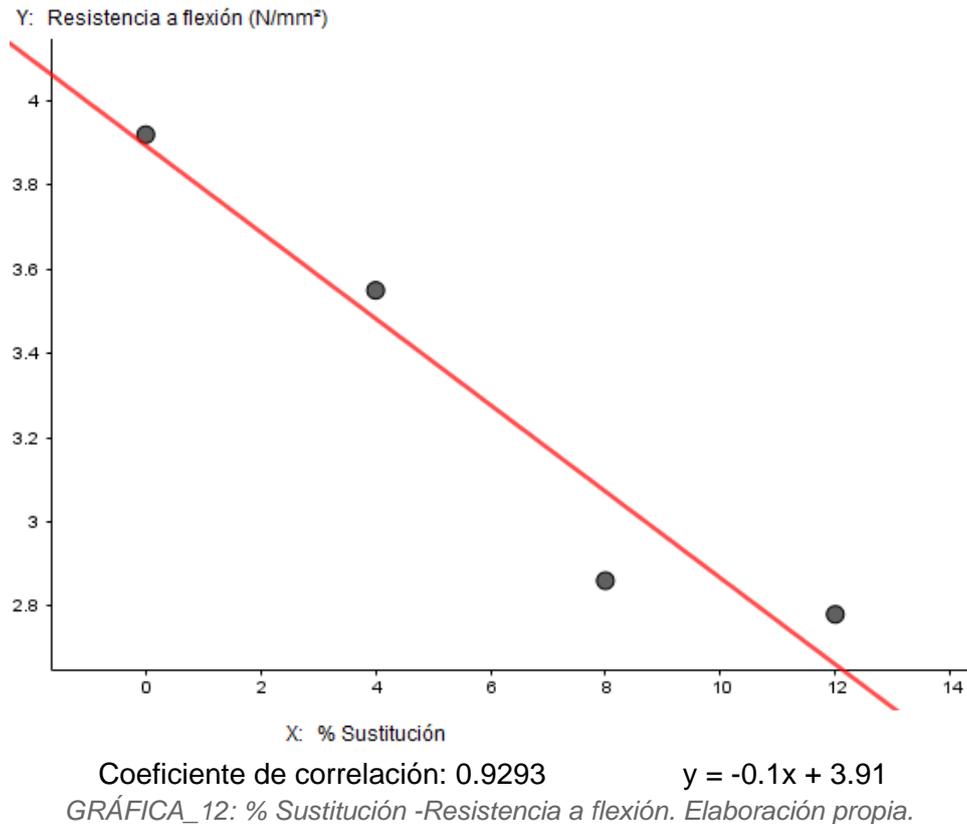
FIG_38: Probetas con dosificación 12% tras rotura en ensayo de resistencia a flexión.

Como hemos podido observar en las gráficas anteriores, tras estas operaciones y mejora del coeficiente de correlación obtenemos unos datos que representan mejor el comportamiento de la muestra, elaborando la siguiente tabla:

PROBETA		DENSIDAD APARENTE (g/cm ³)	RESISTENCIA A FLEXIÓN (N/mm ²)
REF	1	1,230	3,91
	2	1,219	3,77
	3	1,239	3,91
	4	1,244	3,52
	5	1,243	3,68
	6	1,241	4,11
	media		1,232
Y/T4	1	1,181	3,52
	2	1,176	3,29
	3	1,195	3,91
	4	1,208	3,24
	5	1,194	3,77
	6	1,188	2,99
	media		1,187
Y/T8	1	1,196	2,90
	2	1,174	2,78
	3	1,194	2,69
	4	1,190	2,16
	5	1,180	2,92
	6	1,189	2,83
	media		1,183
Y/T12	1	1,161	2,83
	2	1,156	2,62
	3	1,189	2,90
	4	1,178	2,62
	5	1,196	2,39
	6	1,187	2,78
	media		1,174

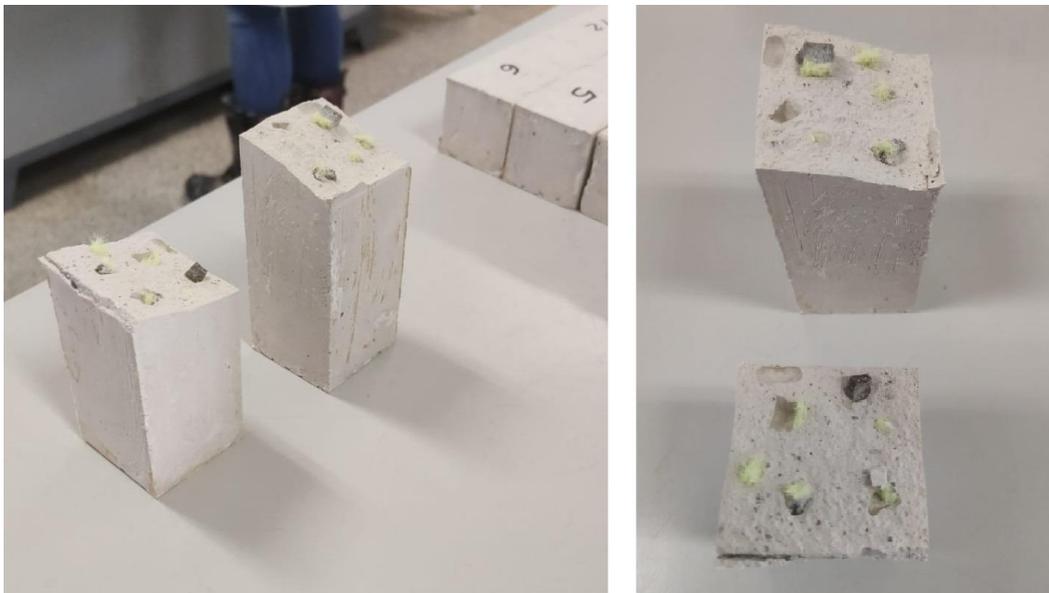
TABLA_08: Resistencia a flexión Analizada: Elaboración propia

.De esta forma podemos observar un alto grado de correlación [GRÁFICA_12], observando como la resistencia a flexión disminuye a medida que aumentamos el porcentaje de sustitución, lo cual nos parece coherente tras el análisis de los resultados obtenidos en el laboratorio, ya que a mayor porcentaje de sustitución menor es la densidad.



6.5.2.2 RESISTENCIA A COMPRESIÓN

Una vez realizados el ensayo de resistencia flexión utilizaremos las dos mitades (A y B) obtenidas de las probetas para someterlas a los ensayos de resistencia a compresión. Con este ensayo podremos conocer su durabilidad y el desgaste que tendría a lo largo de su vida útil, es decir tendríamos con ellos un mayor conocimiento de las características del compuesto.



FIG_39: Probeta rota tras ensayo de carga a flexión en prensa.

a. Metodología

Para comenzar los ensayos a resistencia a compresión se realizarán con la misma prensa que los ensayos de resistencia a flexión. La diferencia entre uno y otro está en la forma en la que se va aplicar la carga en las probetas de ensayos. En el ensayo a flexión la carga se aplica de forma puntual y a compresión se aplica una carga superficial sobre la probeta utilizando un rectángulo de 40 x 40 mm que ejerce presión sobre las probetas.

Como se ha indicado en el anterior apartado se seguirá con lo indicado en la norma UNE EN-196-1:2018. En este caso la prensa utilizada estará conformada por dos platos de soporte de acero con una dureza Vickers mínima de 600 HV, determinada por la norma UNE-EN ISO 6507-1:2006. Uno de los platos debe ser basculante, para asegurar su adaptación a la probeta, el otro deberá ser fijo, para que no se produzcan desviaciones mayores de 0.05 mm con respecto a la superficie horizontal plana.

Las probetas han sido comprobadas anteriormente que han sido bien curadas según las normas UNE, y se ha verificado que no existe ningún tipo de irregularidad entre las superficies y las probetas. Esta vez los ensayos de flexión se colocarán las probetas al contrario que en el apartado anterior se situarán perpendicularmente a la cara de apoyo, aplicando la carga.

Siguiendo la normativa UNE anteriormente comentada, la carga máxima suministrada en las probetas será de 16 KN a una velocidad de (2400 ± 200) N/s, buscando que la rotura se produzca en un periodo de tiempo inferior a 1 minuto.

En el última pasó, una vez obtenidos los datos de la carga máxima de rotura de la máxima, procedemos a calcular la resistencia a compresión con la siguiente fórmula $f = C / b^2$, donde b hace referencia a la dimensión de la placa base y la C la carga obtenida de los resultados aportados en la realización del ensayo.

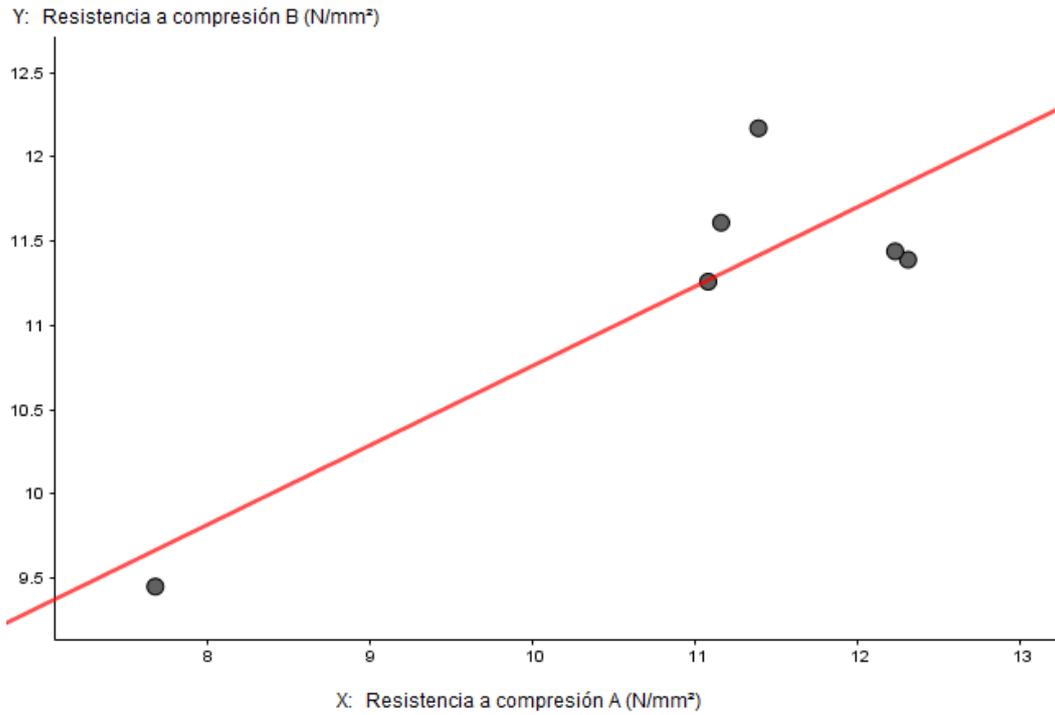
b. Resultados

Una vez recopilamos los datos del laboratorio y realizando las conversiones de unidades de los ensayos a compresión obtenemos la siguiente tabla:

PROBETA		Compresión (16 Kgf/s)		Compresión (Fc) (N)		Superficie de platos auxiliares (mm)	RESISTENCIA A COMPRESIÓN (N/mm ²)	
		A	B	A	B		A	B
REF	1	1,253	1,542	12287,73	15121,85	1600	7,68	9,45
	2	1,859	1,986	18230,56	19476,01	1600	11,39	12,17
	3	2,009	1,858	19701,56	18220,76	1600	12,31	11,39
	4	1,996	1,866	19574,07	18299,21	1600	12,23	11,44
	5	1,807	1,837	17720,62	18014,82	1600	11,08	11,26
	6	1,820	1,895	17848,10	18583,60	1600	11,16	11,61
Y/T4	1	1,347	1,377	13209,56	13503,76	1600	8,26	8,44
	2	1,310	1,286	12846,71	12611,35	1600	8,03	7,88
	3	1,334	1,360	13082,07	13337,04	1600	8,18	8,34
	4	1,542	1,443	15121,85	14151,00	1600	9,45	8,84
	5	1,433	1,207	14052,93	11836,63	1600	8,78	7,40
	6	1,313	1,525	12876,13	14955,14	1600	8,05	9,35
Y/T8	1	1,219	1,116	11954,31	10944,22	1600	7,47	6,84
	2	1,181	1,112	11581,65	10904,99	1600	7,24	6,82
	3	1,195	1,094	11718,95	10728,48	1600	7,32	6,71
	4	1,241	1,193	12170,05	11699,33	1600	7,61	7,31
	5	1,121	1,220	10993,25	11964,11	1600	6,87	7,48
	6	1,208	1,156	11846,43	11336,49	1600	7,40	7,09
Y/T12	1	1,025	0,973	10051,82	9541,87	1600	6,28	5,96
	2	1,141	1,043	11189,39	10228,34	1600	6,99	6,39
	3	1,157	0,920	11346,29	9022,12	1600	7,09	5,64
	4	1,090	1,024	10689,25	10042,01	1600	6,68	6,28
	5	1,143	1,004	11209,00	9845,88	1600	7,01	6,15
	6	0,984	1,011	9649,74	9914,52	1600	6,03	6,20

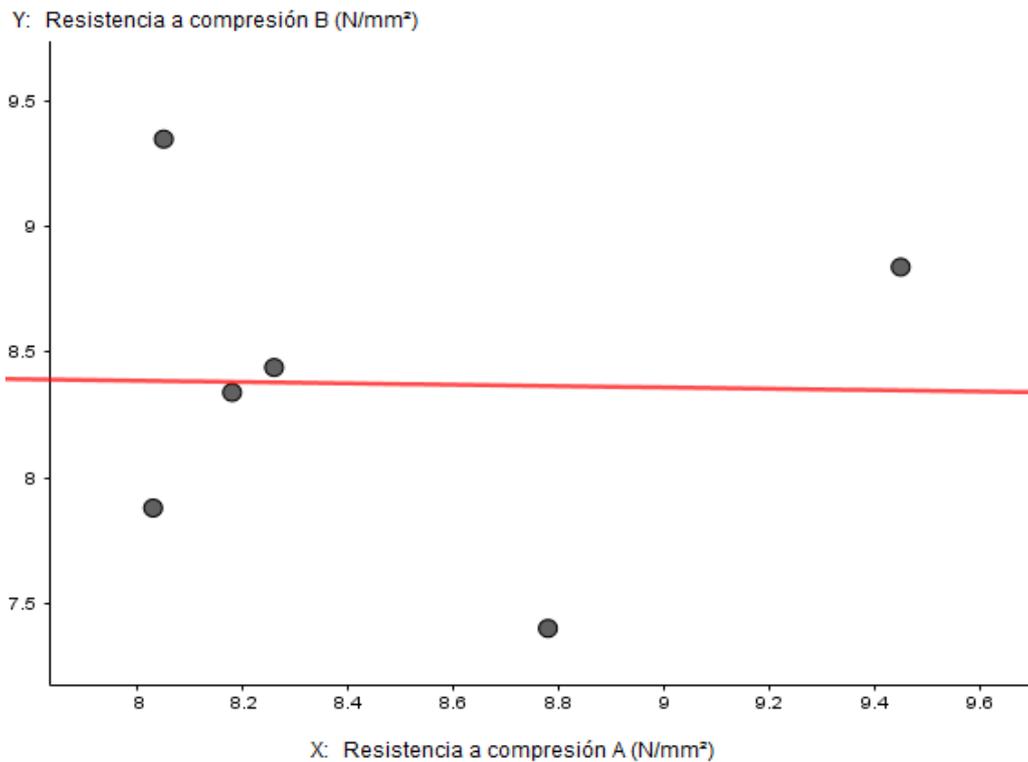
TABLA_09: Resistencia a compresión: Elaboración propia

Como este ensayo se realiza sobre cada una de las dos partes resultantes de cada probeta tras el ensayo a flexión, a fin de dar una mayor coherencia de los resultados para determinar la resistencia a compresión, analizaremos las relaciones entre las propias cargas de rotura de una misma probeta. Por ello compararemos directamente entre sí los datos de A y B.



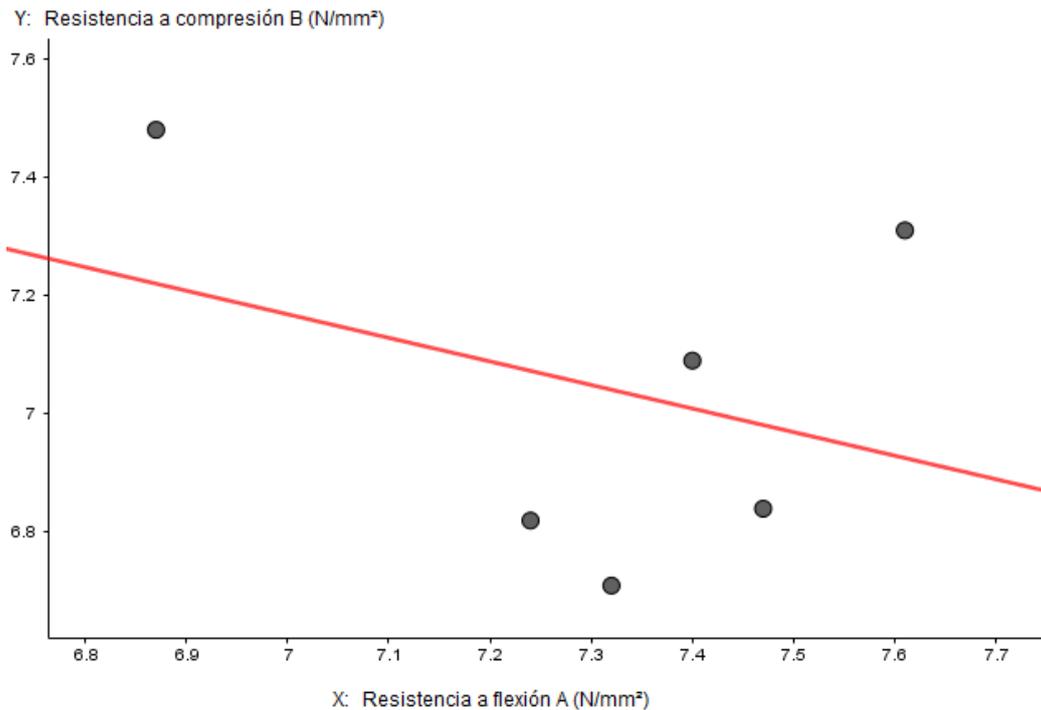
Coeficiente de correlación: 0.7523 $y = 0.471x + 6.04$

GRÁFICA_13: Probetas referencia. Resist a compresión A– Resist a compresión B. Elaboración propia



Coeficiente de correlación: 0.0005 $y = -0.03x + 8.6$

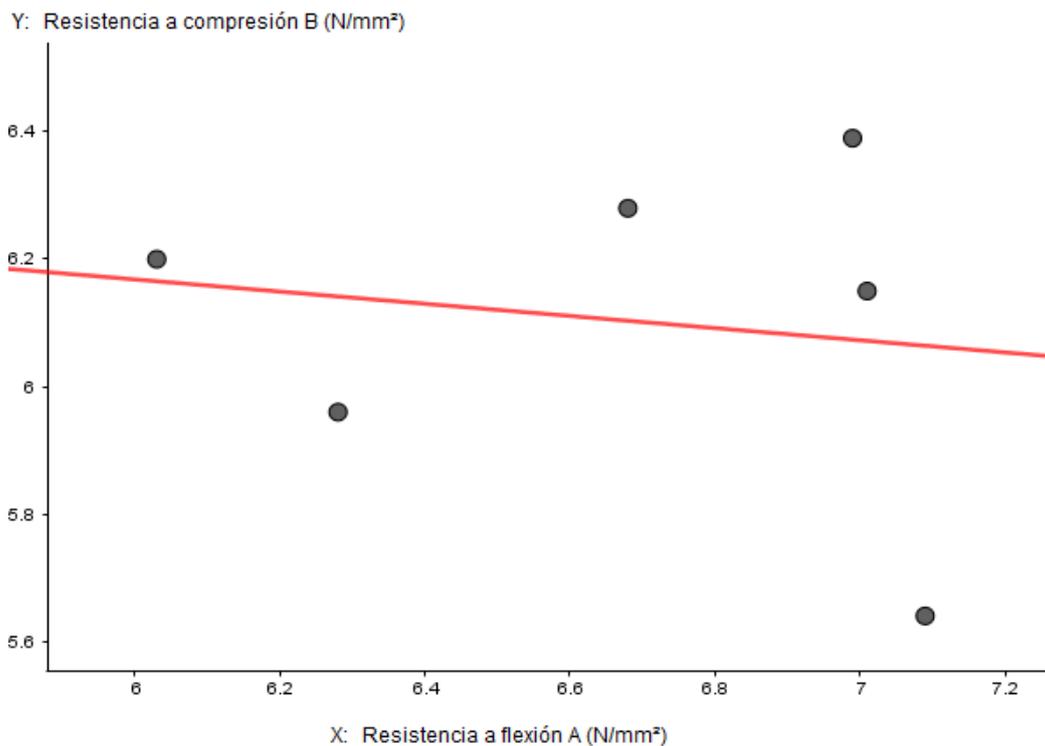
GRÁFICA_14: Probetas 4%. Resist a compresión A– Resist a compresión B. Elaboración propia



Coefficiente de correlación: 0.1093

$$y = -0.397x + 9.95$$

GRÁFICA_15: Probetas 8%. Resist a compresión A– Resist a compresión B. Elaboración propia



Coefficiente de correlación: 0.0242

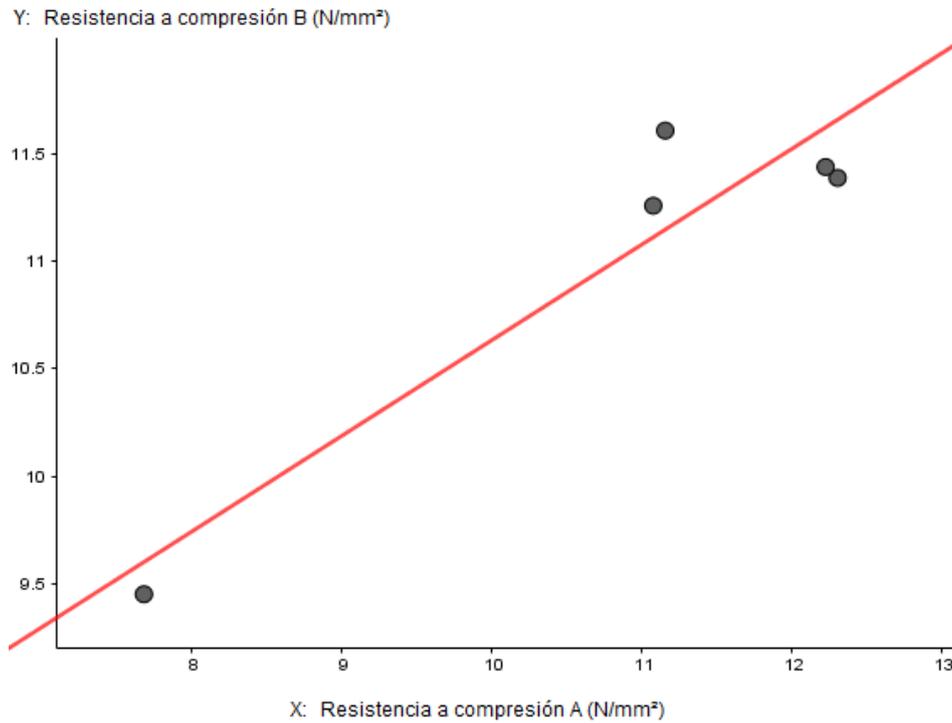
$$y = -0.1x + 6.74$$

GRÁFICA_16: Probetas 12%. Resist a compresión A– Resist a compresión B. Elaboración propia

Como se observa en las gráficas anteriores, obtenemos un coeficiente de correlación muy bajo entre la resistencia a compresión A y la resistencia a compresión B.

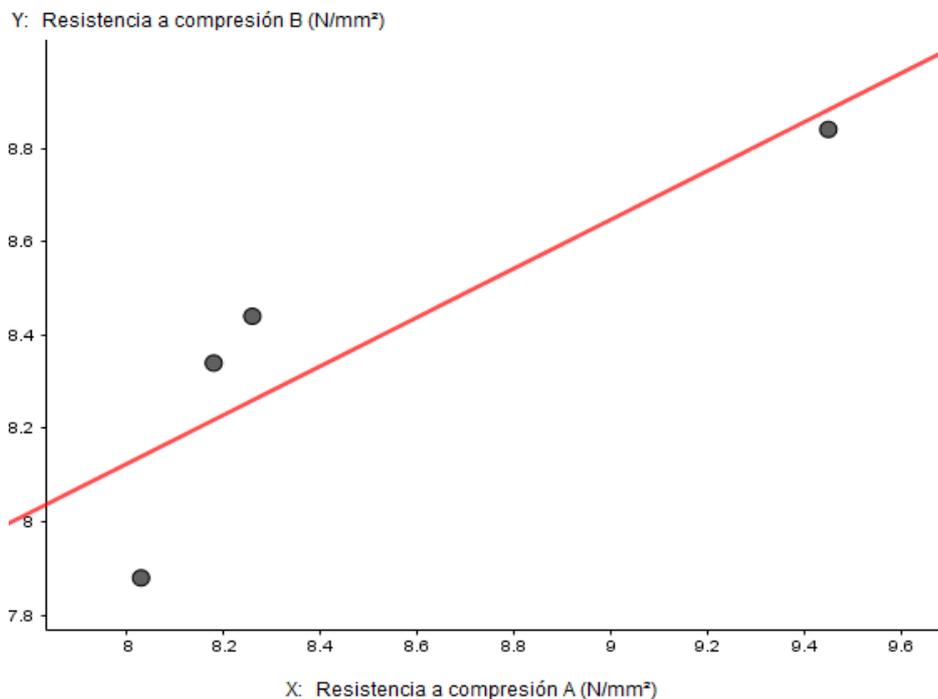
c. Análisis de resultados

Debido a la condición de las muestras, obtenemos algunos valores con mucha disparidad entre A y B dado que muchas probetas no se han roto por el punto medio tras el ensayo a flexión. Obtenemos un mayor coeficiente de correlación para cada uno de los distintos porcentajes de sustitución una vez descartados algunos valores desfavorables, descartando siempre las dos mitades de una misma probeta.



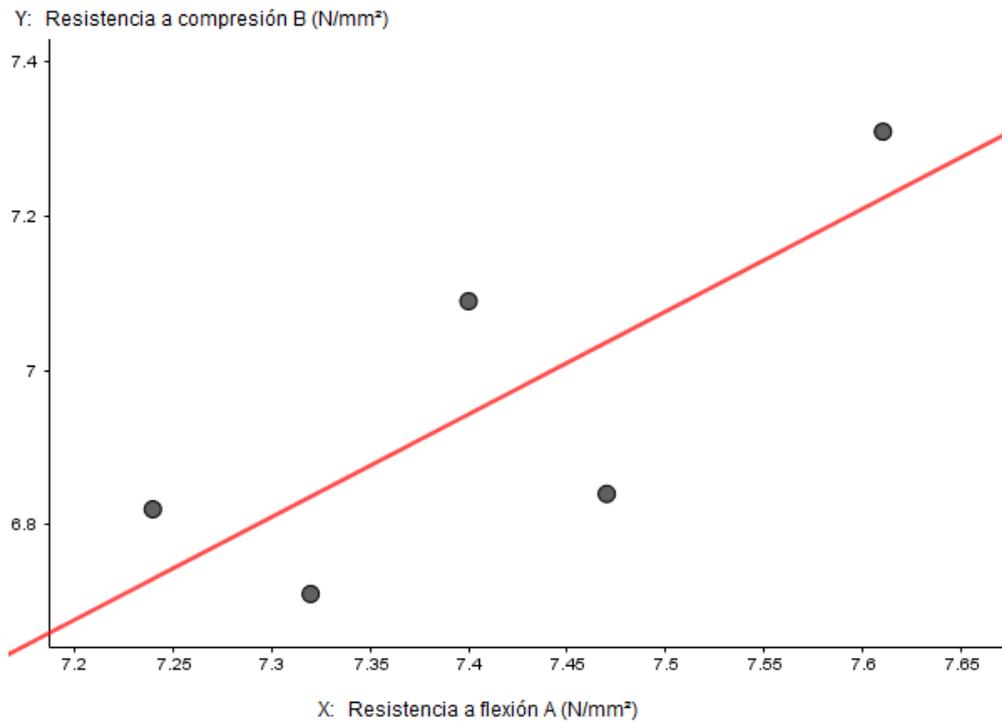
Coeficiente de correlación: 0.8856 $y = 0.445x + 6.181$

GRÁFICA_17: Probetas ref Analizada. Resist a compresión A–Resist a compresión B. Elaboración propia



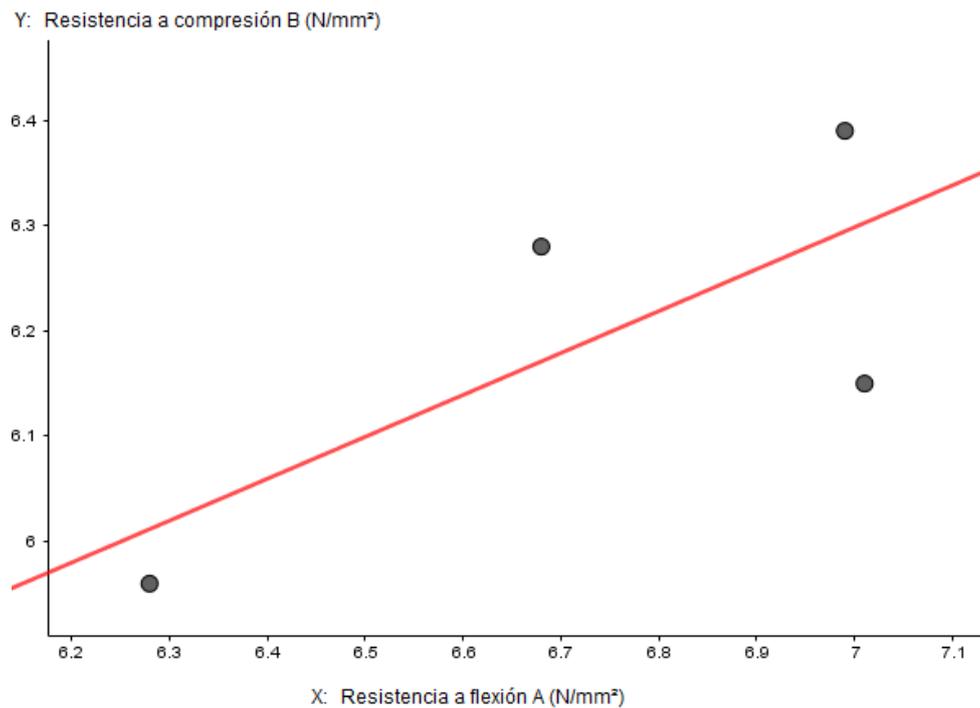
Coeficiente de correlación: 0.7504 $y = 0.52x + 3.94$

GRÁFICA_18: Probetas 4% Analizada. Resist a compresión A–Resist a compresión B. Elaboración propia



Coefficiente de correlación: 0.6104 $y = 1.335x - 2.93$

GRÁFICA_19:Probetas 8%Analizada.Resist a compresión A–Resist a compresión B.Elaboración propia



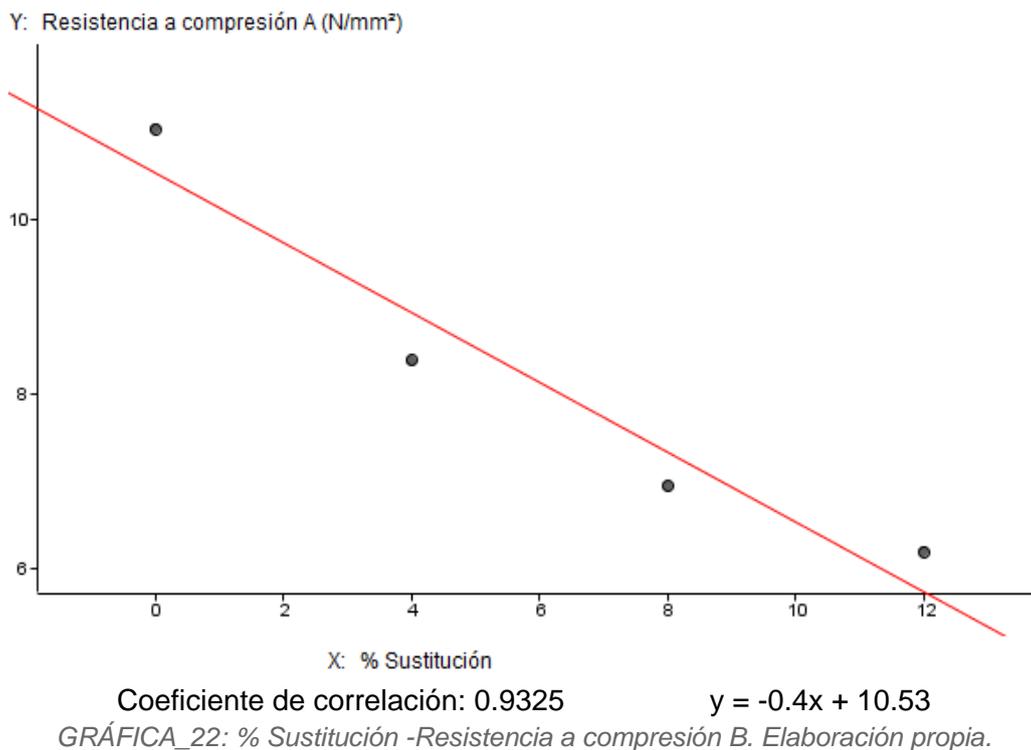
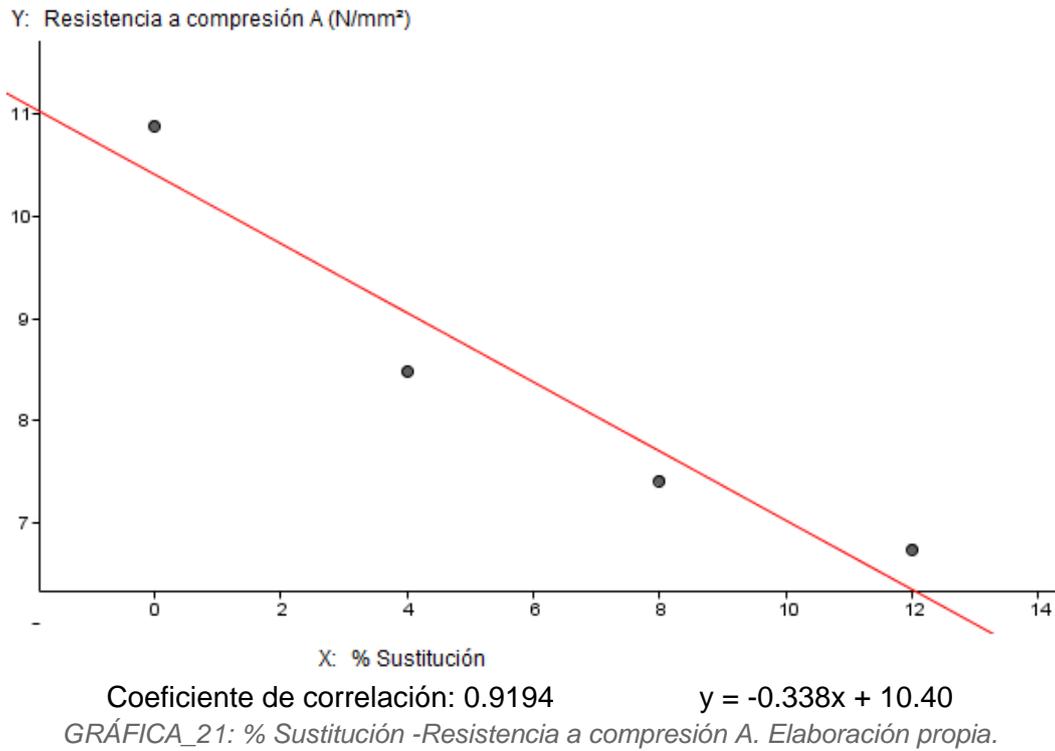
Coefficiente de correlación: 0.5423 $y = 0.4x - 3.51$

GRÁFICA_20:Probetas 12%Analizada.Resist a compresiónA–Resist a compresiónB.Elaboración propia

Tras estas operaciones y con la mejora del coeficiente de correlación obtenemos unos datos que representan mejor el comportamiento de la muestra, elaborando la siguiente tabla:

PROBETA	RESISTENCIA A COMPRESIÓN (Mpa) (N/mm ²)		
		A	B
REF	1	7,68	9,45
	2	11,39	12,17
	3	12,31	11,39
	4	12,23	11,44
	5	11,08	11,26
	6	11,16	11,61
	media	10,89	11,03
Y/T4	1	8,26	8,44
	2	8,03	7,88
	3	8,18	8,34
	4	9,45	8,84
	5	8,78	7,40
	6	8,05	9,35
	media	8,48	8,38
Y/T8	1	7,47	6,84
	2	7,24	6,82
	3	7,32	6,71
	4	7,61	7,31
	5	6,87	7,48
	6	7,40	7,09
	media	7,41	6,95
Y/T12	1	6,28	5,96
	2	6,99	6,39
	3	7,09	5,64
	4	6,68	6,28
	5	7,01	6,15
	6	6,03	6,20
	media	6,74	6,20

TABLA_10: Resistencia a compresión Analizada: Elaboración propia



Como podemos observar en las gráficas anteriores [GRÁFICA_21] [GRÁFICA_22] obtenemos prácticamente la misma recta decreciente a mayor porcentaje de sustitución, lo cual otorga coherencia respecto al comportamiento ofrecido a compresión para ambas mitades.

7. ANÁLISIS Y CONCLUSIONES DE LOS ENSAYOS

7. ANÁLISIS Y CONCLUSIONES DE LOS ENSAYOS

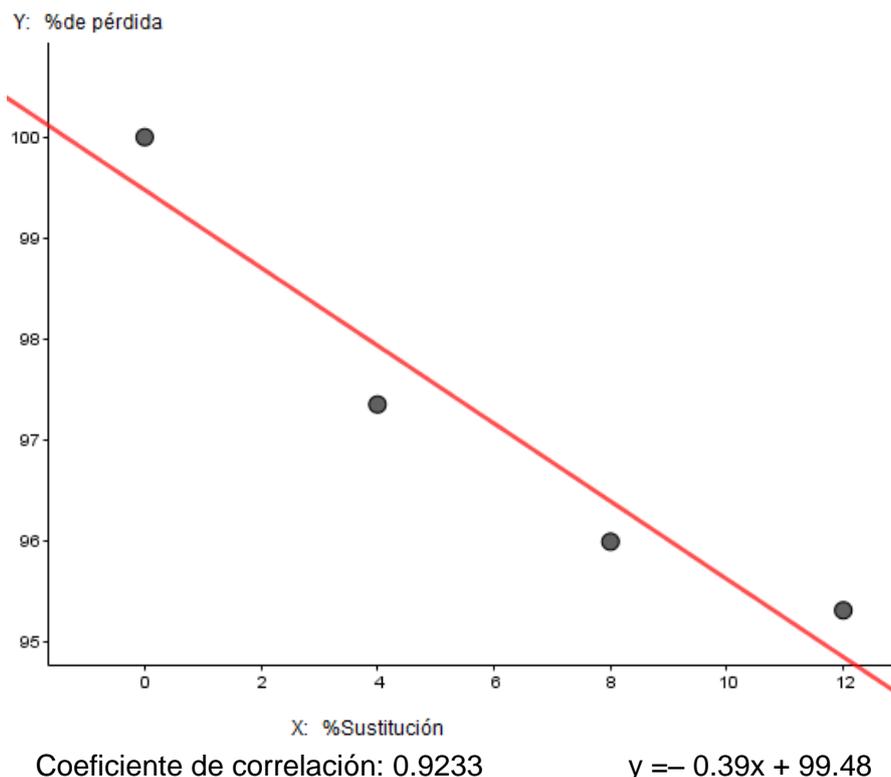
Una vez hemos llevado a cabo la realización de los ensayos citados anteriormente siguiendo la metodología descrita, recopilando los resultados y realizando su posterior análisis de datos, procedemos a elaborar una síntesis recopilatorio de aquellos aspectos de las pruebas realizadas que nos parecen más relevantes y que nos dan motivos para llevar a cabo la creación de un nuevo material.

7.1 ANÁLISIS DE VALORES DENSIDAD MEDIOS

PROBETAS	Dosificación % de sustitución	Medias Densidad aparente (gr/cm ³)	% Pérdida respecto a referencia
REF	0%	1,235	---
Y/T4	4%	1,190	-3,65%
Y/T8	8%	1,186	-4,01%
Y/T12	12%	1,177	-4,69%

TABLA_11: Medias de densidad aparente: Elaboración propia

Con los valores de esta tabla [TABLA_11], representados en la gráfica [GRÁFICA 23], podemos observar las medias de los valores de densidad aparente para cada porcentaje de sustitución, concluyendo que existe una ligera disminución de la densidad a medida que se aumenta el porcentaje de sustitución, no obstante, estas variaciones son pequeñas dentro del rango de dosificación, pero a tener en cuenta con respecto a la probeta de referencia ya que obtenemos un material más ligero.

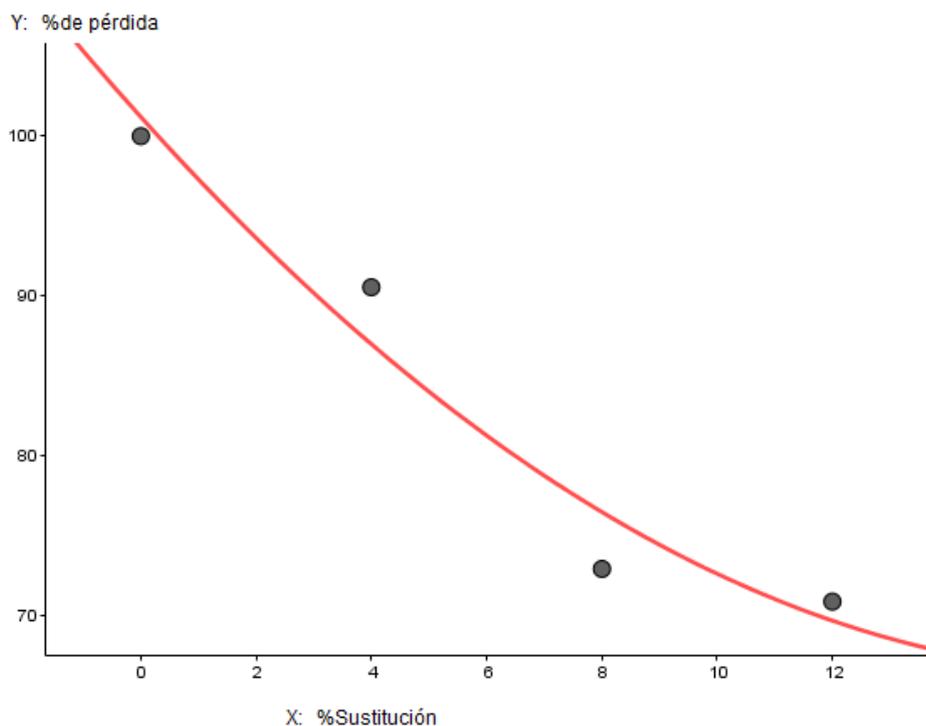


GRÁFICA_23: %Sustitución -%Pérdida respecto a referencia. Densidad aparente. Elaboración propia.

7.2 ANÁLISIS DE VALORES MECÁNICOS MEDIOS

PROBETAS	Dosificación % de sutitución	Medias Resistencia flexión (N/mm ²)	% Pérdida respecto a referencia
REF	0%	3,92	---
Y/T4	4%	3,55	-9,44%
Y/T8	8%	2,86	-27,04%
Y/T12	12%	2,78	-29,08%

TABLA_12: Medias de resistencia a flexión: Elaboración propia



Coefficiente de correlación: 0.9524

$$y = 0.1156x^2 - 4.008x + 101.18$$

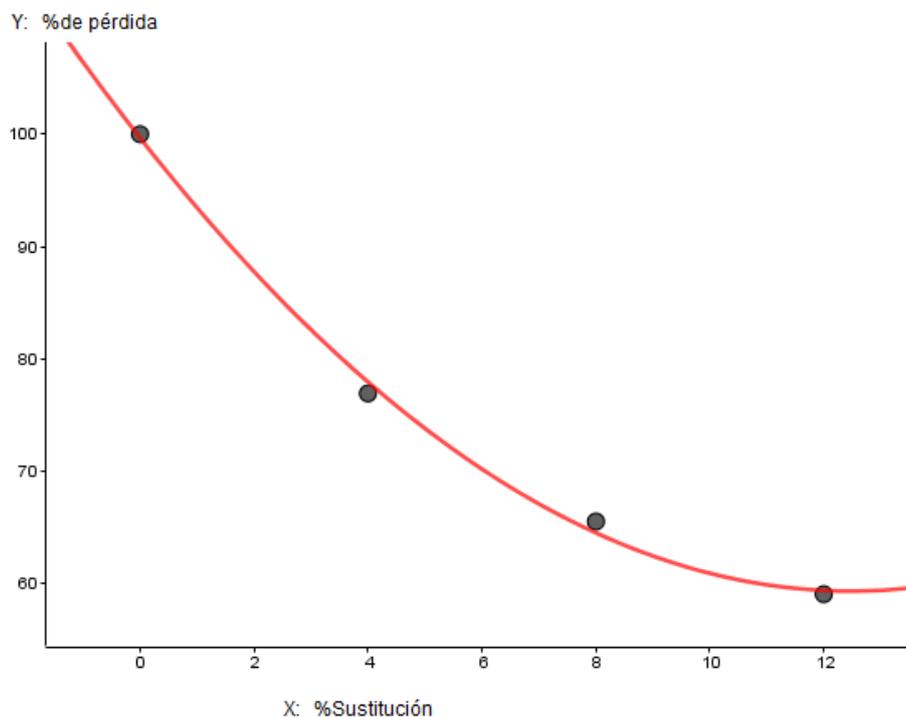
GRÁFICA_24: %Sustitución -%Pérdida respecto a referencia. Resistencia a flexión Elaboración propia.

Como podemos observar en estas gráficas [GRÁFICA 24] [GRÁFICA 25] de las medias de los valores mecánicos de los ensayos realizados, la resistencia disminuye a medida que aumentamos el porcentaje de sustitución, tanto a flexión como a compresión; siendo mayor la pérdida de resistencia a compresión que la pérdida de resistencia a flexión para cada una de las dosificaciones. Ante esta evidencia de pérdida a mayor porcentaje de sustitución, cabe destacar como se producen dichas pérdidas, ya que las mismas parecen más estables entre los mayores porcentajes de sustitución del 8% y 12% ya que es menor la pérdida de resistencias mecánicas entre estos porcentajes que la que existe entre el 4% y 8% e incluso entre la referencia y el 4%.

Para los valores medios de la resistencia a compresión hemos tomado la media de los valores de A y B para cada uno de los distintos porcentajes.

PROBETAS	Dosificación % de sustitución	Medias Resistencia compresión (N/mm ²)	% Pérdida respecto a referencia
REF	0%	10,96	---
Y/T4	4%	8,43	-23,08%
Y/T8	8%	7,18	-34,49%
Y/T12	12%	6,47	-40,97%

TABLA_13: Medias de resistencia a compresión: Elaboración propia



Coefficiente de correlación: 0.9977

$$y = 0.26x^2 - 6.47x + 99.6$$

GRÁFICA_25:%Sustitución-%Pérdida respecto a referencia.Resist. compresión.Elaboración propia.

Con las representaciones gráficas vemos más claro cómo se producen estas estabilizaciones de las pérdidas a mayor porcentaje de sustitución y cómo se obtienen unos altos coeficientes de correlación para un modelo de regresión polinómica de grado 2. Por tanto, podemos afirmar que si elegimos un mayor porcentaje de sustitución para nuestro producto las variaciones de las pérdidas de las resistencias mecánicas serán menores dentro de dicho rango.

7.3 CONCLUSIONES Y MATERIALIDAD PARA PRODUCTO PROPUESTO

Tras el análisis de todos los resultados obtenidos por los ensayos creemos que nuestro residuo de sustitución podría llegar a conformar un nuevo producto, que podría usarse en el sector de la edificación, ya que es plausible si llegara a desarrollarse y completar futuros ensayos y pruebas restantes para dicho fin.

Por lo visto anteriormente podemos afirmar que nuestro material tiene una densidad ligeramente inferior, dato que no es despreciable junto al porcentaje de sustitución al que va asociado, ya que incluso aunque la densidad se mantuviera debemos de tener en cuenta la menor cantidad de yeso y agua que estamos consumiendo al mismo tiempo del uso que le estamos dando a un residuo plástico.

Respecto a las propiedades mecánicas de nuestro nuevo material, es cierto que las resistencias caen notablemente tanto a flexión como a compresión porcentualmente, pero ello no quita en términos de valores absolutos estos valores alcanzan los mínimos exigidos por las normativas vigentes para su cumplimiento.

Es por ello que, aunque nuestro nuevo material no mejore las propiedades de la referencia, tampoco las empeora tanto como para no ser considerado apto para conformar una solución de un producto que cumpla con las mismas funciones y garantías que el producto convencional, es decir tiene la capacidad de hacer el mismo ofrecimiento, pero tratándose de un producto ecoeficiente con todas las implicaciones ecológicas y ambientales que ello conlleva.

Como hemos visto, muchas de las hipótesis de comportamiento que planteábamos en base a los estudios previos analizados, han sido reafirmadas. Comparando los resultados de nuestros ensayos con los del estudio de yeso y caucho sintético [24], podemos observar que ambos presentan unos comportamientos similares, lo cual es bastante lógico dado que nuestro residuo, pelota de tenis, se compone en gran medida del mismo material.

Por todo lo anterior, nos decantamos a estudiar las placas de yeso laminado en techos continuos suspendidos con nuestro nuevo material, el cual se adapta bastante a este producto de aplicación en el sector de la edificación y que podríamos llegar a reemplazar. Se pretende llevar a cabo dicha sustitución de la manera más realista posible y con la premisa de tomar el mayor porcentaje de residuo posible en la dosificación, sin comprometer las propiedades mecánicas del mismo y en cumplimiento con parte de la normativa vigente, no en su totalidad ya que para ello necesitaríamos realizar más ensayos de diversas índoles.

Este uso nos parece adecuado ya que tenemos un material menos denso, con unas ligeras deficiencias respecto a su comportamiento mecánico pero que son salvables y un ahorro de material y recursos como son el yeso y el agua, todo ello junto la reutilización de un residuo plástico.

8. DISEÑO DEL PRODUCTO PROPUESTO

8.DISEÑO DEL PRODUCTO PROPUESTO

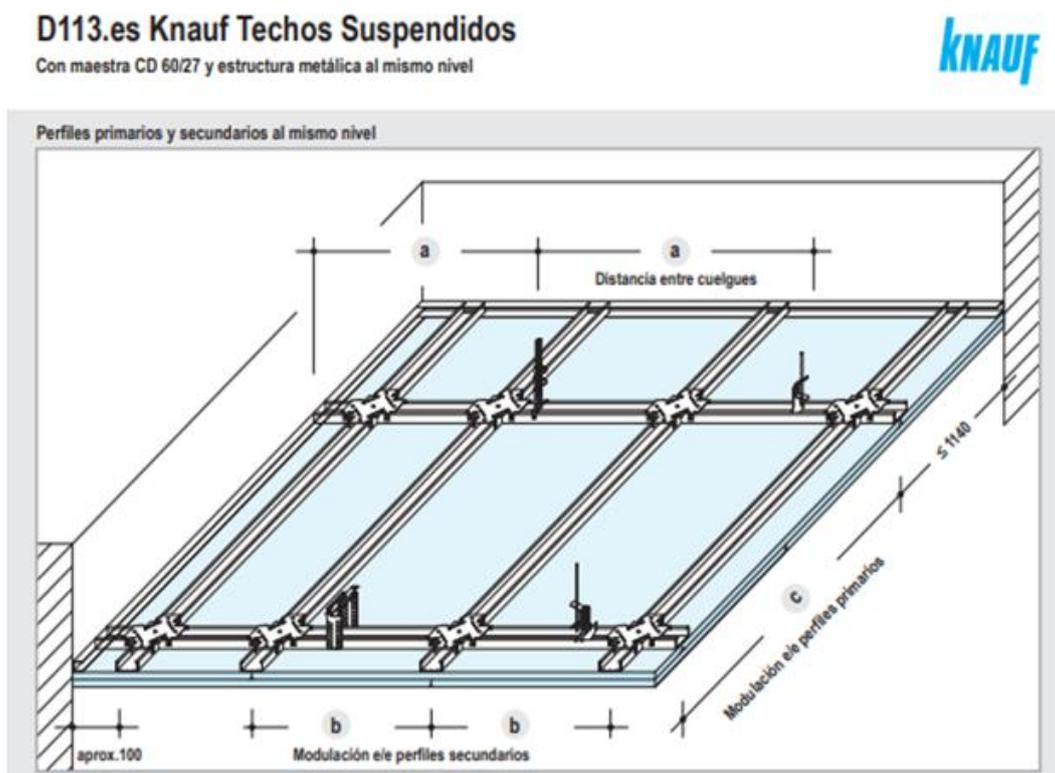
8.1 PRODUCTO COMERCIAL DE REFERENCIA

Vamos a tomar como producto de referencia un producto actual del catálogo de la casa comercial KNAUF, una de las más conocidas en el sector de la edificación. De ésta manera podremos hacer una comparativa del producto que queremos sustituir por el nuestro.

Dentro del catálogo nos centramos en las soluciones que este ofrece para techos continuos suspendidos de yeso, ejecutados con placas de yeso laminado. Dichas soluciones para techos constan de una subestructura la cual sirve de soporte para colocar las placas de yeso laminado que conformaran el techo continuo.

Dentro de las subestructuras, existen de diversas medidas, varios dimensionados y separación entre ejes , así como el descuelgue que presentan cada una de ellas, las cuales del mismo constan de una perfilaría y tornillería específicas; nos obstante dentro de esta diversidad las podemos clasificar dentro de dos grandes grupos: las que se conforman al distintos niveles (la perfilaría de una dirección y la de la dirección perpendicular no son coplanarias) ; y las que se conforman a un mismo nivel (la perfilaría de ambas direcciones se encuentran en el mismo plano).

Dentro de las placas de yeso laminado para esta solución de techos encontramos varias tipologías de las mismas haciendo referencia a mejoras de algunas de sus propiedades para un uso concreto, como pueden ser placas con alta resistencia al fuego, placas de alta dureza o con una mayor absorción acústica.



FIG_41: Catálogo KNAUF. Techos suspendidos D11. Pág. 11

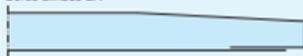
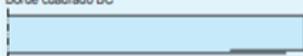
Tomaremos como referencia un techo suspendido de yeso continuo a la misma altura [FIG_41] y unas placas de yeso laminado regular [FIG_42] dentro de dicho catálogo que presentamos.

K711B.es Knauf Standard A

Placa de yeso laminado básica para sistemas de construcción en seco



Datos técnicos

Descripción	Unidad	Valor	Norma
Tipo de placa	-	A	UNE-EN 520
Reacción al fuego UNE-EN 13501-1	Clase	A2-s1,d0 (B)	UNE-EN 520
Borde longitudinal revestido con cartón	-	Borde afinado BA  Opcional Borde cuadrado BC 	-
Borde transversal sin cartón	-	Borde cortado BCO 	-
Tolerancia de anchura	mm	+0 / -4	UNE-EN 520
Tolerancia de longitud	mm	+0 / -5	UNE-EN 520
Tolerancias de espesores: Placa de 9,5, 12,5 y 15 mm Placa de 18 mm	mm	+0,5 / -0,5 +0,7 / -0,7	UNE-EN 520
Tolerancia de ortogonalidad	mm/m	≤ 2,5	UNE-EN 520
Factor de resistencia al vapor de agua μ: Seco Húmedo	-	10 4	UNE-EN ISO 10456
Conductividad térmica λ	W/(m·K)	0,22	UNE-EN ISO 10456
Hinchamiento y retracción por 1 % de variación de la humedad relativa	mm/m	0,006 0,008	-
Hinchamiento y retracción por 1 Kelvin de variación de temperatura	mm/m	0,013 - 0,020	-
Radio de curvatura mínimo para placa de 9,5 mm: Seco Húmedo	mm	r ≥ 2000 r ≥ 500	-
Radio de curvatura mínimo para placa de 12,5 mm: Seco Húmedo	mm	r ≥ 2750 r ≥ 1000	-
Densidad	kg/m³	≥ 630	-
Dureza superficial (huella)	mm Ø	< 20	UNE-EN 520
Permeabilidad al aire	m³/(m²·s·Pa)	1,4 x 10⁴	-
Medidas: Espesores Anchura Longitudes	mm	9,5 / 12,5 / 15 / 18 1200 Varias	-
Peso aproximado: Placa de 9,5 mm Placa de 12,5 mm Placa de 15 mm Placa de 18 mm	kg/m²	7,5 8,0 10,6 14,3	-
Temperatura máxima de uso	°C	≤ 50 (puntualmente hasta 60)	-
Carga de rotura a flexión Placa tipo longitudinal: transversal:	N	9,5 mm 12,5 mm 15 mm 18 mm ≥ 400 ≥ 550 ≥ 650 ≥ 774 ≥ 160 ≥ 210 ≥ 250 ≥ 302	UNE-EN 520

Las placas de yeso laminado aumentan su peso cuando absorben agua. 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 h en llegar a un aumento de su peso del 10%.

2

	1200	2000	12,5	50 uds. / palé 120 m² / palé	93869
	1200	2500	12,5	42 uds. / palé 126 m² / palé	337872
	1200	2600	12,5	42 uds. / palé 131 m² / palé	337873
Standard A 12,5 BA	1200	2700	12,5	42 uds. / palé 136 m² / palé	337876
	1200	2800	12,5	42 uds. / palé 141 m² / palé	235405
	1200	3000	12,5	42 uds. / palé 151 m² / palé	337880

FIG_42: Catálogo KNAUF. Placa de yeso laminado K711B. Pág. 02

Por tanto, el producto de referencia será la placa de yeso laminado K711B de KNAUF [FIG_42] con el sistema de techo suspendido D113 del mismo fabricante [FIG_41]. En nuestro caso utilizaríamos la misma subestructura, sustituyendo las placas por nuestro producto propuesto; habiendo elegido el formato de dimensiones 1200x2000x12,5 mm. Para esta dimensión de placa el fabricante ofrece la posibilidad de instalar doble placa para este sistema, lo cual recomienda en algunos casos para ofrecer mejores características.

8.2 DEFINICIÓN DEL PRODUCTO PROPUESTO

En este apartado vamos a definir nuestra propia placa, atendiendo a sus características requeridas en base a su composición para una futura fabricación, con todos los datos y la información recopilada en los apartados anteriores tanto de los ensayos propios como ajenos tomados como referencia y estudiados previamente, para alcanzar el mayor grado de definición posible con estos medios.

Como hemos mencionado en el apartado anterior, la subestructura que soportará nuestras placas será la misma que la que ofrece en su catálogo KNAUF [FIG41], cambiando sólo las placas, de esta forma se pueden conservar las subestructuras ya instaladas y al mismo tiempo evitar una nueva fabricación de otra subestructura específica, lo cual conllevaría un nuevo costo tanto de material como de energía.

Por tanto y centrándonos en la propia placa que es el producto que queremos sustituir definiremos una placa hecha con nuestro nuevo material de igual dimensionado que la placa de referencia [FIG_42], de esta manera las dimensiones de nuestra placa serán de 1200x2000x12,5 mm.

Nuestro objetivo es que nuestro producto contenga la mayor cantidad de residuo posible pero dado que existe una pérdida de las resistencias (compresión y flexión) conforme se aumenta el porcentaje de adicción, como hemos visto y analizado anteriormente; vamos a determinar hasta dónde podemos asumir dicha pérdida y que por tanto nos ofrezca unos comportamientos aceptables. Para ello tomaremos los valores mínimos que establece la norma UNE- EN- 13279, siendo el mínimo recomendable para flexión 3,0 Mpa y para compresión 2,0 Mpa para yesos de la construcción. Por tanto, si garantizamos valores superiores a los mínimos que establece la norma estaremos diseñando un producto ecoeficiente que cumpla con la normativa actual.

A continuación, para calcular cual sería el mayor porcentaje de residuo que podríamos llegar a utilizar, vamos a tomar los valores del análisis de datos para las resistencias mecánicas, sustituyendo con los valores mínimos establecidos por la norma UNE- EN- 13279, obteniendo de este modo los siguientes resultados:

En el caso de la resistencia mínima a flexión (3,0Mpa):

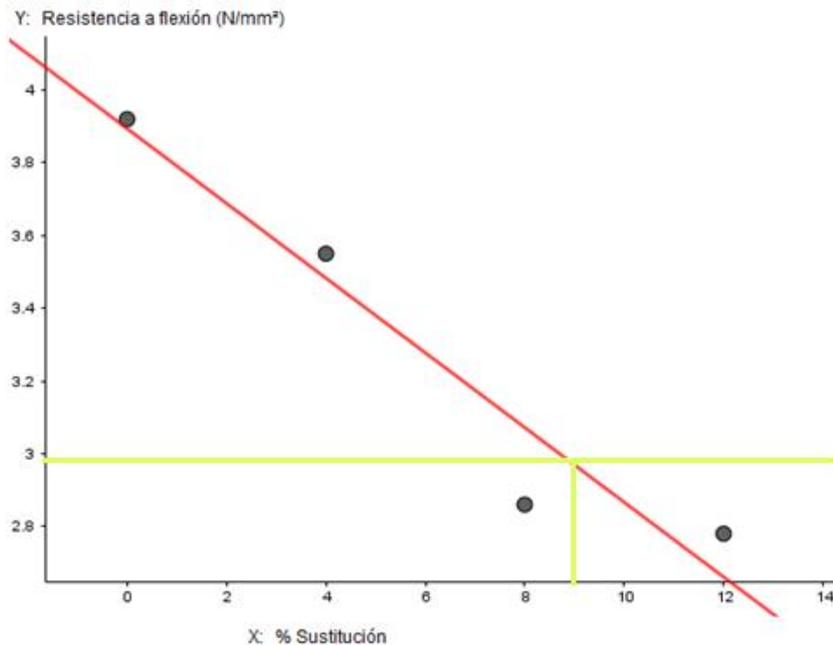
$$X=(3.91-Y) / 0.1$$

Para $Y=3$;

$$X=(3.91-3) / 0.1= 9.1$$

Por tanto, para cumplir el valor mínimo de resistencia a flexión:

$$X \leq 9.1 \%$$



Coefficiente de correlación: 0.9293

$$y = -0.1x + 3.91$$

GRÁFICA_12: % Sustitución -Resistencia a flexión. Elaboración propia.

Para el caso de la resistencia compresión podemos observar de los datos obtenidos tras los ensayos, que el valor mínimo que obtenemos es de 6,47 Mpa para la dosificación del 12%, superando ampliamente el mínimo establecido de 2,0 Mpa, cumpliendo cualquier porcentaje por debajo de este; de modo que no vemos necesario realizar el cálculo ya que tomaremos el valor más desfavorable para garantizar el cumplimiento de ambos y en nuestro caso dicho valor viene determinado por la resistencia a flexión.

En consecuencia, a todo lo anterior, establecemos que la dosificación óptima para nuestra placa es una sustitución del yeso por residuo del 9% en peso. Teniendo la siguiente composición:

PORCENTAJE DE SUSTITUCIÓN	YESO	PELOTA DE TENIS	AGUA (55% YESO)
9 %	60,97 %	5,49 %	33,54 %

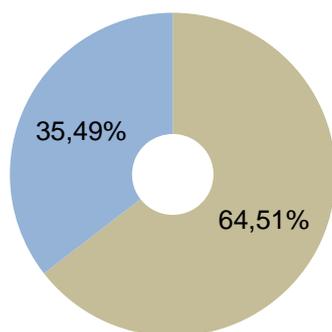
TABLA_15: Dosificación material del producto propuesto. Elaboración propia.

A continuación, mostramos una comparativa de nuestro material compuesto respecto al material convencional sin adicción de residuo:

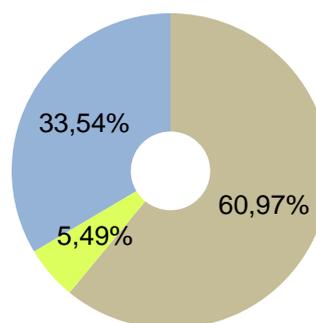
PORCENTAJE DE SUSTITUCIÓN	YESO	PELOTA DE TENIS	AGUA (55% YESO)
REF 0 %	64,51 %	0 %	35,49 %
9 %	60,97 %	5,49 %	33,54 %
DIFERENCIA 9% - REF 0%	- 3,54 %	+5,49%	-1,95 %

TABLA_16: Comparativa ahorro y reutilización material compuesto. Elaboración propia.

COMPOSICIÓN REF 0%



COMPOSICIÓN 9%



■ YESO ■ AGUA (55% YESO) ■ YESO ■ PELOTA DE TENIS ■ AGUA (55% YESO)

TABLA_16: Comparativa ahorro y reutilización material compuesto. Elaboración propia.

Es decir que este porcentaje de sustitución [TABLA_15] en la dosificación de nuestro material compuesto asegura una reducción de yeso del 3,54% y una disminución del consumo de agua de casi 2 dos litros por cada 100kg de producto, a estos ahorros de recurso y material debemos añadir la reutilización de un residuo plástico como son las pelotas de tenis que supone un aumento del 5,49% [TABLA_16].

A partir de conocer la composición y dimensiones de nuestro panel, podemos calcular una mayor caracterización del mismo; teniendo en cuenta la sustitución del 9% de pelotas de tenis, obtenemos unos paneles compuestos de yeso-pelota de tenis de 35,46 Kg, de los cuales 1,94Kg corresponderían a la cantidad de residuo introducido en cada panel, siendo este dato aproximadamente 34 pelotas de tenis (considerando como peso medio de una pelota de tenis 57g como hemos visto en apartados anteriores), es decir, que estamos reutilizando casi 1 pelota de tenis por cada Kg del producto compuesto.

Ahora vamos a definir nuestro producto compuesto ecoeficiente desde un punto de vista medioambiental, para ello vamos a tratar de cuantificar las emisiones de CO2 asociadas a nuestro producto de panel compuesto yeso-pelota de tenis. De este modo si nuestro producto tiene unas emisiones en su ciclo de vida menores al convencional podremos estar hablando de un producto ecoeficiente y sostenible. Tomaremos el dato de emisiones por kg

de m² construido para nuestra tipología de material que sería el cartón yeso del estudio “Modelo de cuantificación de las emisiones de CO₂ producidas en edificación derivadas de los recursos materiales consumidos en su ejecución” [33].

Tabla 4. “Emisiones de CO₂ por kg de material y por m² construido del MCH”

Datos ambientales de la imagen de referencia del MCH			
CBMs representativos del MCH definido	EC _{CBM}	R*	ECm ²
	kgCO ₂ /kg	kg/m ²	kgCO ₂ /m ²
Acero estructural y laminado	2,80000	30,76	86,13
Acero cromado, esmaltado, galvanizado	3,78887	5,21	19,74
Aditivo, disolvente, barniz y aceites	13,77640	7,29	100,43
Aluminio (anodizado y lacado)	31,45454	0,99	31,14
Áridos	0,03000	467,19	14,02
Betún asfáltico	6,49700	1,67	10,85
Cartón yeso	0,47415	22,44	10,64
Cemento	0,41122	29,40	12,09
Material cerámico	0,17516	132,56	23,22
Cobre y cobre recocido	14,82539	0,63	9,34
Hormigón celular y prefabricados	0,45617	31,26	14,26
Hormigón prefabricado y suministrado	0,21851	1026,79	224,37
Mortero prefabricado	0,22268	93,45	20,81
Neopreno	17,65333	1,50	26,48
Temple	14,72049	1,61	23,70
PVC	10,35576	1,04	10,77
Terrazo	0,21619	43,34	9,37
Otros (vidrio, metales, porcelana, cal, etc.)	0,31949	146,48	46,80
Totales imagen de referencia MCH		2043,61	694,16

FIG_43: Tabla emisiones de CO₂ por Kg de material y m² construidos. [33].

Consideraremos que la emisión de CO₂ por Kg de material en nuestro caso es la misma que la que emitiría la producción de los paneles de cartón-yeso ya que en ambos el material fundamental es el yeso. Conociendo este valor de 0,47415 Kg CO₂/Kg tomado de la tabla anterior [FIG_43][Donde: ECCBM = Emisiones de CO₂, en kgCO₂/kg de material. R* = Peso medio, en kg/m² construido. ECm² = Emisiones de CO₂ por cada m² construido, obtenida mediante la expresión: $ECm^2 = ECCBM * (R^*)$]; calculando el peso de nuestro panel en las mismas unidades de medida 14,77 Kg/m²; concluimos que nuestros paneles de compuesto yeso-pelota de tenis tendrían una emisión de Kg de CO₂ por m² construidos de 7,02 KgCO₂/m². Tratándose de un valor inferior al obtenido en esta misma tabla de referencia para los paneles de cartón-yeso tradicionales (10,64 KgCO₂/m²) para los que lo han calculado.

Aunque estamos realizando todas las descripciones posibles del producto que proponemos, en base a todos los ensayos y estudios realizados, tanto ajenos como propios; somos conscientes de que nuestro panel compuesto yeso-pelota de tenis sería un producto no aprobado y que para que dicho producto llegará a ser una realidad, se le deberían realizar una serie de ensayos más específicos, concretos y pormenorizados para asegurarnos cumplir con todas las normativas vigentes en este orden de aplicación, como para este caso en concreto serían las siguientes:

UNE-EN 13964:2016 - Techos suspendidos. Requisitos y métodos de ensayo. [18]

UNE-EN 14246:2007 - Placas de escayola para falsos techos. Definiciones, Especificaciones y métodos de ensayo. UNE-EN 14246:2007/AC:2007.[19]

UNE 102043:2013 - Montaje de los sistemas constructivos con placa de yeso laminado (PYL). Tabiques, trasdosados y techos. Definiciones, aplicaciones y recomendaciones.[20]

Gracias a estas normativas podríamos realizar una mayor definición de todas las características del producto desde los más generales como pueden ser dimensiones, aspecto o resistencias, hasta los más específicos como la conductividad térmica, higroscopicidad, permeabilidad, resistencia al fuego o reflectancia de la luz.

Además de toda la normativa citada anteriormente, nuestro producto debería cumplir las normativas propias del Código Técnico de la Edificación (CTE) para que pueda formar parte de proyectos de edificación definitivos, siendo dichas normativas las siguientes:

CTE- DB HR, protección frente al ruido. [39]

CTE- DB HE, ahorro de energía. [40]

CTE- DB HS, salubridad. [41]

CTE- DB SI, seguridad en caso de incendio. [42]

Una vez llegados a este punto, y dadas nuestras limitaciones por los medios y recursos de los que disponemos para llevar a cabo esta investigación, junto con la imposibilidad de realizar un mayor número y tipo de ensayos, procedemos a mostrar una recopilación de todas las características de nuestro panel descritas anteriormente:

DIMENSIONES	1200 x 2000 x 12,5 mm
PESO	35,46 Kg
PESO POR M2 CONSTRUIDOS	14,77 Kg/m ²
DENSIDAD	1182 kg/m ³
RESISTENCIA A FLEXIÓN	3,11 N/mm ²
RESISTENCIA A COMPRESIÓN	6,96 N/mm ²
CANTIDAD DE RESIDUO	1,94 Kg
Nº PELOTAS DE TENIS APROXIMADAS	34
EMISIONES CO ₂ *	7,02 Kg CO ₂ /m ²

TABLA_ 17: Características panel compuesto yeso-pelota de tenis propuesto. Elaboración propia.

(*)Estos valores se han calculado para nuestro caso con resultados de ensayos de investigación ajenos, tomados como referencia [33].

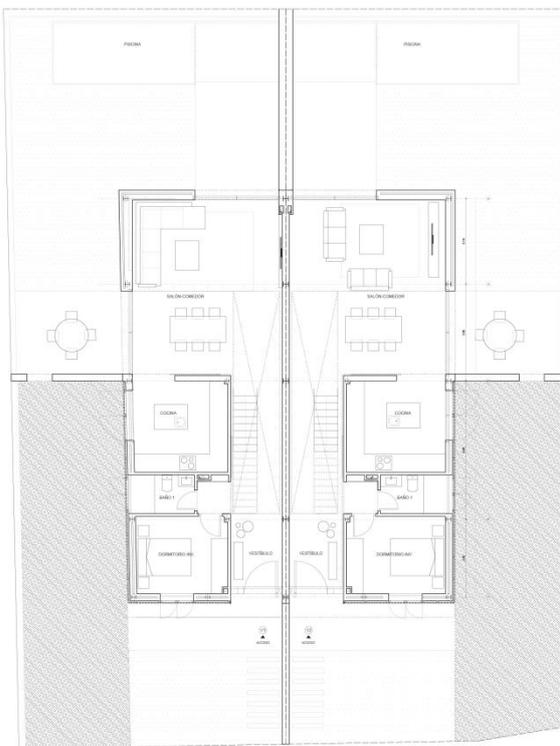
9. APLICACIÓN EN UN CASO PRÁCTICO

9. APLICACIÓN EN UN CASO PRÁCTICO

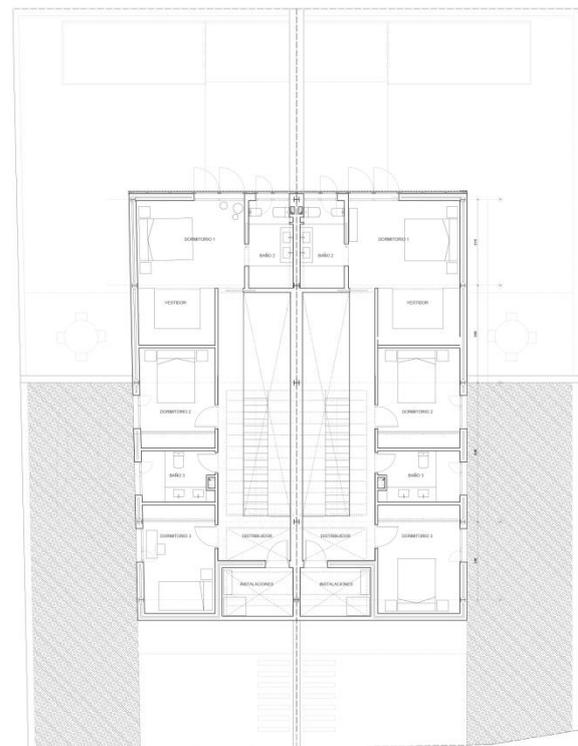
Ya una vez definido nuestro producto en el apartado anterior como una placa compuesta de yeso-pelota de tenis, la cual sea sustitutiva de un aplacado convencional de yeso laminado ejecutado como falso techo suspendido continuo; en este apartado vamos a aplicar nuestro producto propuesto en un caso práctico para ver la influencia directa que esta propuesta ecoeficiente puede tener sobre la edificación.

Para ejemplificar nuestra propuesta de construcción ecoeficiente y cuantificar sus ventajas respecto a un producto convencional en un caso práctico, tomaremos el proyecto *Libetad 4 casas pareadas* obra del arquitecto Ramón Queiro en la localidad sevillana de Dos Hermanas, construido en el año 2020, premio Arquitectura y Sociedad del COAS (Colegio Oficial de Arquitectos de Sevilla) 2021.

El proyecto consta de cuatro viviendas unifamiliares pareadas de dos plantas (PB+P1). Las viviendas se abren al interior de la parcela y se muestran herméticas al exterior dado su entorno poco definido y con una clara intención de priorizar la intimidad. El programa de las viviendas consta de 4 habitaciones, dos de ellas con baño y la principal con vestidor. Todas las estancias principales y auxiliares dan al exterior, incluida la estancia para los equipos de climatización; cohesionadas todas ellas por un vacío espacial central, donde se encuentra la escalera que actúa como caja de luz por el lucernario que hay sobre ella, y como elemento articulador de la vivienda, al mismo tiempo que le otorga un mayor recorrido de la misma. [43]



FIG_44: Planta baja V1-V2.
Viviendas pareadas Libertad.



FIG_45: Planta primera V1-V2.
Viviendas pareadas Libertad.

Realizaremos la medición sobre plano, de los metros cuadrados de falso techo para la disposición que presenta en la vivienda V2. Siendo dichos valores de 75,96 m² de falso techo en la planta baja [FIG_46] y de 65,38 m² de falso techo en la planta primera [FIG_47], lo que supone un total de 141,34 m² de falso techo continuo de placas de yeso laminado por vivienda.



FIG_46: Disposición falso techo planta baja V2.
primera V2
Viviendas pareadas Libertad.



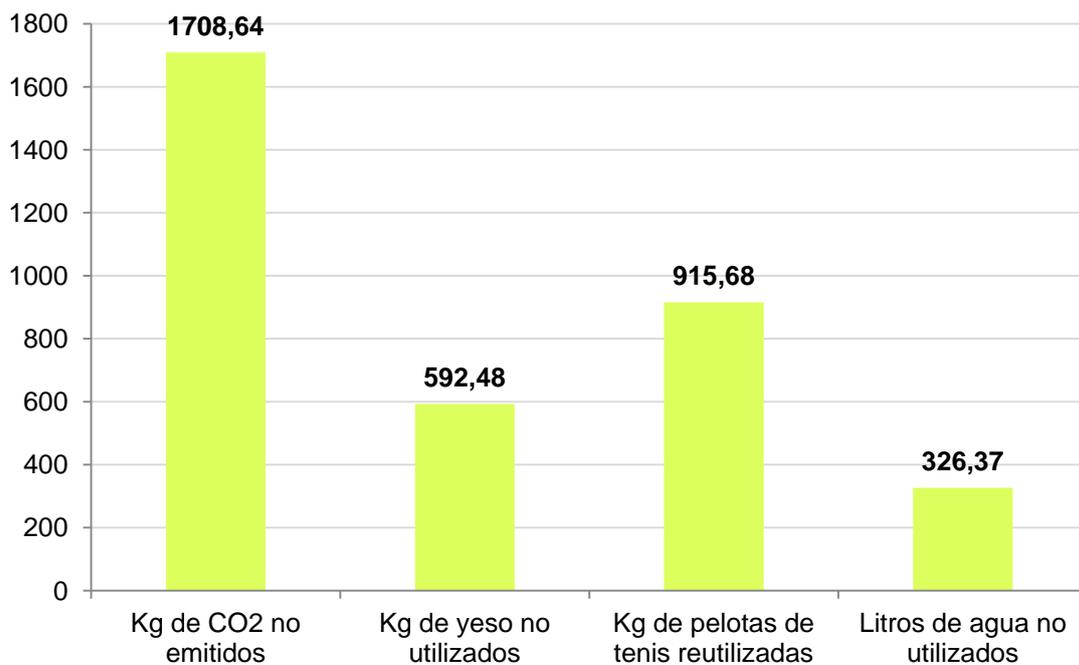
FIG_47: Disposición falso techo planta
primera V2
Viviendas pareadas Libertad.

Sabiendo que nuestros paneles cuentan con una superficie de 2,40 m², necesitaríamos disponer de un total de 59 paneles de yeso-pelota de tenis para abarcar la superficie de falso techo de una vivienda para el sistema de un sólo panel. Si consideramos la opción de instalar un doble panelado- opción que recomienda el fabricante Knauf para cumplir con exigencias de otras índoles como puede ser aumentar la resistencia al fuego acorde a las normativas citadas anteriormente – necesitaríamos 118 paneles compuestos yeso-pelota de tenis por vivienda. Al tratarse de 4 viviendas pareadas, para la totalidad del proyecto acabaríamos empleando 472 paneles, lo cual supone un total de 915,68 Kg de pelotas de tenis, o lo que es lo mismo: 16.048 pelotas (si alineásemos tal cantidad de pelotas abarcarían una longitud de 104,47 Km).

Junto al uso de estas cantidades de pelotas de tenis, al usar nuestro panel compuesto estaríamos ahorrando yeso y agua respecto a una placa sin aditivo, en concreto ahorraríamos unos 592,48 Kg de yeso y consumiríamos unos 326,37 litros de agua menos. A pesar de estas reducciones de yeso y agua, el ahorro económico sería relativamente bajo ya que el yeso tiene un valor entre 0'08 €/kg y 0'12 €/kg según BCCA (Base de Costes de la Construcción de Andalucía. Banco de precios) [44], por lo que no sería significativo, al igual que el agua, aunque esta depende su coste de dónde se produzcan los paneles.

En cambio, si nos referimos al valor del impacto ambiental, sí que estaríamos hablando de beneficios sustanciales: el yeso requiere de un alto coste energético debido a los procesos térmicos que intervienen en su producción, los cuales estaríamos contribuyendo a reducir; al mismo tiempo, reduciendo el consumo de agua que empleamos estamos favoreciendo la preservación de un recurso natural muy necesario. Además de todo ello, la producción de nuestros 472 paneles para este caso práctico supondría 1708,64 Kg de CO₂ no emitidos, lo que supone 1,7 toneladas de CO₂ menos respecto a paneles de yeso, contribuyendo así a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero.

A continuación, mostramos una recopilación de los datos comparativos para estas 4 viviendas pareadas para nuestra propuesta alternativa de construcción ecoeficiente:



TABLA_18: Resultados comparativos en el caso práctico. Elaboración propia.

Como podemos observar ambientalmente nuestro producto ofrece numerosas ventajas incluso en un proyecto de pequeña escala y para una aplicación muy concreta, ofreciendo las mismas características y condiciones mecánicas que un producto comercial-convencional, siendo nuestro panel compuesto yeso-pelota de tenis una alternativa más sostenible con los materiales, recursos, la reutilización y las emisiones.

10. CONCLUSIONES

10. CONCLUSIONES

Como último punto, tras los ensayos, los resultados obtenidos, el producto propuesto y la aplicación de este en un caso práctico; obtenemos una serie de conclusiones para finalizar este trabajo de investigación.

Dados los hechos mostrados en este documento y ante la imposibilidad de repetir los ensayos de esta investigación o ampliar el número de los mismos; las conclusiones más importantes a las que hemos llegado son que mediante la adicción de pelotas de tenis al compuesto de yeso, podemos obtener productos derivados de esta experimentación que a pesar de considerarse poco resistentes, son capaces de igualar las propiedades mecánicas de un producto convencional, junto con una pérdida de peso y numerosas ventajas desde el punto de vista del impacto medioambiental en lo que se refiere a los procesos de fabricación y la generación de residuos del modelo productivo actual.

Por tanto, en este trabajo evidenciamos, un punto muy relevante como es la reducción de residuos, la preservación de bienes y recursos naturales; y ejecutar un modelo de actividades productivas del sector de la edificación más sostenible. Acorde a la composición de nuestro producto con un porcentaje de sustitución del 9%, estaríamos reduciendo en uso del yeso en un 3,54% en peso y de un 1,95% del peso de agua utilizada. Al mismo tiempo, conseguimos la reutilización de un residuo plástico como son las pelotas de tenis del 5,49% en peso de dicho residuo, que, teniendo una vida útil muy corta, hemos conseguido darle un segundo uso.

A pesar de todas estas reducciones de material, recursos y residuos; el objetivo de nuestro producto propuesto es el de reducir el coste medioambiental, llegando a ser mucho más significativo que el coste económico del producto, que en definitiva podrá ser similar al coste de un panel de cartón- yeso convencional. Esto viene dado por el bajo precio del yeso y el agua y al mismo tiempo por el precio del aditivo del residuo plástico de nuestro producto ya procesado, siendo dicho proceso simplemente el corte mediante maquinaria de las pelotas de tenis a un tamaño determinado y su transporte.

Otra de las ventajas destacables que presenta la utilización de pelotas de tenis como residuo plástico en adición en un producto de base de yeso; es la de reducir el coste medioambiental, interviniendo el interés por reducir el consumo de energía, y la emisión de CO₂ a la atmósfera. En este último aspecto, hemos comprobado como nuestras placas consiguen reducir la emisión de CO₂ en unos 3,62 Kg de CO₂/m² construidos, lo cual ayuda a menguar el efecto invernadero y las consecuencias negativas que conlleva como son el calentamiento global o la calidad del aire.

Llegados a este punto, tras la discusión de resultados y habiendo argumentado las fortalezas de nuestro producto propuesto y justificando las decisiones tomadas a lo largo de esta investigación en el presente documento, vamos a realizar una revisión de los objetivos marcados al comienzo del mismo en el punto 3, a fin de corroborar que hemos cumplido con todos los aspectos que nos propusimos en un principio:

3.1. OBJETIVOS GENERALES

- *Estudio de materiales plásticos reciclados como sustitutivos de materiales convencionales tanto en construcciones de edificación y obra civil.*
- *Elegir un residuo compuesto por materiales plásticos en base a los estudios previos realizados.*
- *Determinar y ejecutar un plan experimental para producir un material compuesto con la sustitución por material plástico reciclado.*
- *Proponer un producto fabricado con el material compuesto caracterizado en el estudio.*
- *Realizar una comparativa del material propuesto respecto al material tradicional correspondiente.*

En los objetivos de carácter general, hemos conseguido tratar todos los puntos que habíamos propuesto, si bien es cierto que, hemos tenido que tomar distintas decisiones a medida que iba avanzando la investigación con carácter retroactivo en dichos objetivos.

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- *Estudiar la producción y consumo del caucho sintético y la fibra de nylon, así como su papel y aplicaciones en el sistema de producción industrial actual.*
- *Investigar el proceso de obtención y reciclado de nuestro material plástico y sus beneficios de carácter medioambiental, energético y económico.*
- *Analizar estudios previos de utilización de materiales plásticos residuales como sustitutivos materiales en morteros de cemento y de yeso para obtener una hipótesis de partida.*
- *Comparar las posibles mejoras de las propiedades ya sean mecánicas, acústicas y/o térmicas en base al porcentaje de sustitución de material.*
- *Proponer un producto o elemento constructivo teniendo como base nuestro nuevo material compuesto resultante.*

En este segundo apartado con los objetivos específicos, se han tratado todos los puntos de manera satisfactoria. De igual forma, al avanzar en nuestra investigación, descubriríamos más aspectos interesantes para la proposición del nuevo producto, que podrían ser tomados como posibles hipótesis pero que dadas nuestras limitaciones para realizar un mayor número y tipo de ensayos hemos tenido que ir descartando ciertas vías de investigación o que finalmente no hemos llegado a incluir en nuestro caso.

De esta forma pensamos que se abren nuevas líneas de investigación para la adición de pelotas de tenis como residuos plásticos en morteros de yeso como pueden ser la repetición de los ensayos que figuran en este documento caracterizando el residuo con un menor tamaño de partícula y/o unos porcentajes de sustitución ligeramente mayores a los empleados. Otra futura línea de investigación sería realizar ensayos de propiedades térmicas ya que, en base a los estudios previos estudiados y a la extrapolación de datos de nuestras muestras, todo nos hace pensar, como mostramos en el ANEXO_4, que nuestro material tendría un buen comportamiento aislante, esto podría ser tomado como una hipótesis de partida para un futuro ensayo.

En definitiva, este tipo de investigación pretende buscar nuevas soluciones a problemas medioambientales, que afectan directamente a la arquitectura y la sociedad; existiendo actualmente numerosas posibilidades de investigación en este campo, remarcando que nuestros ensayos han sido muy reducidos.

11. APÉNDICES

11. APÉNDICES

BIBLIOGRAFÍA

[1] Harika Chittella, Li Wan Yoon, Suganti Ramarad, Zee-Wei Lai, 2021. “*Rubber waste management: A review on methods, mechanism, and prospects*”, Polymer Degradation and Stability, vol. 194, 109761.

[2] Si.lpa Kaza , Li.sa Yao , Perin.az Bhada-Tata , Frank Van Woerden, 2018. “*What a Waste 2.0 : A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050*”, World Bank, Washington, DC.

[3] World bank Blogs, 2018. “Landslides, dumpsites, and waste pickers”. Disponible en: <https://blogs.worldbank.org/sustainablecities/landslides-dumpsites-and-waste-pickers> [11-Mar-2022]

[4] Women in Informal Employment Globalizing and Organizing, 2013. “*The Right to Be Recognized as Workers*”. Disponible en : <http://www.wiego.org/sites/default/files/resources/files/WIEGO-Waste-Pickers-Position-Paper.pdf> [11-Mar-2022]

[5] Ferronato, Navarro, and Vincenzo Torretta, 2019. "Waste Mismanagement in Developing Countries: A Review of Global Issues" International Journal of Environmental Research and Public Health 16, no. 6: 1060.

[6] Kyle Sebastian Mulya, Jinqin Zhou, Zhen Xin Phuang, David Laner, Kok Sin Woon, 2022."A systematic review of life cycle assessment of solid waste management: Methodological trends and prospects" Science of The Total Environment, vol.831, 154903.

[7] Noticias del Parlamento Europeo, 2020. “*Gestión de residuos en la UE: hechos y cifras (Infografía)*”. Disponible en: <https://www.europarl.europa.eu/news/es/headlines/society/20180328STO00751/gestion-de-residuos-en-la-ue-hechos-y-cifras-infografia> [11-Mar-2022]

[8] Plastics Europe, 2020. “ *Plásticos: Situación en 2020*”. Disponible en: https://plasticseurope.org/es/wp-content/uploads/sites/4/2021/11/ES_Plastics_the_facts-WEB-2020_May21_final_updatedJuly2021.pdf [11-Mar-2022]

[9] B Adhikari, D De, S Maiti, 2000.”*Reclamation and recycling of waste rubber*” Progress in Polymer Science, vol. 25, págs 909-948.

[10] Nandex Marketing, 2021. “*La desvulcanización del caucho: El hecho diferencial en el reciclado*” Bandexx Rubber Bands. Disponible en: <https://rubberbandex.com/la-desvulcanizacion-del-caucho/> [16-Mar-2022]

[11] Sourav Ray, Mohaiminul Haque, Tanvir Ahmed, Ayesha Ferdous Mita, Md Hadiuzzaman Saikat, Md Mafus Alom, 2022. "Predicting the strength of concrete made with stone dust and nylon fiber using artificial neural network" Heliyon, vol. 8, tema 3.

[12] Tecnología de los plásticos. Disponible en:
<https://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/07/nylon.html> [16-Mar-2022]

[13] Textiles Panamericanos, 2015. "Fibras Manufacturadas Continúan su Crecimiento". Disponible en:
<https://textilespanamericanos.com/textiles-panamericanos/articulos/2015/02/fibras-manufacturadas-continuan-su-crecimiento/> [16-Mar-2022]

[14] Fibras Artificiales y Sintéticas. Disponible en:
<https://aniq.org.mx/anuario/2019/Capitulo11/introduccion.html> [16-Mar-2022]

[15] Reciclado de Fibra de Nylon 6. Disponible en:
https://prezi.com/72k9g5_iqkmg/reciclado-de-fibra-nylon-6/ [16-Mar-2022]

[16] Nurel Synthetic Fibers. Disponible en:
<https://fibers.nurel.com/es/productos/eco/reco-nylon> [16-Mar-2022]

[17] UNE-EN 933-1:2012. Ensayos para determinar las propiedades geométricas de los áridos. Parte 1: Determinación de la granulometría de las partículas. Método del tamizado. Normas UNE.AENOR (Asociación Española de Normalización y Certificación Aenor).

[18] UNE EN-13279-1:2009. Yesos de construcción y conglomerantes a base de yeso para la construcción. Parte 1: Definiciones y especificaciones. Normas UNE.AENOR (Asociación Española de Normalización y Certificación Aenor).

[19] UNE 102042-1:2014. Yesos y escayolas de construcción. Otros métodos de ensayo. Normas UNE.AENOR (Asociación Española de Normalización y Certificación Aenor).

[20] UNE 13279-2:2014. Yesos de construcción y conglomerantes a base de yeso para la construcción. Parte 2: Métodos de ensayo. Normas UNE.AENOR (Asociación Española de Normalización y Certificación Aenor).

[21] Bustamante Montoro, Rosa; Mayor Lobo, Pablo; Hernández Olivares, Francisco y Rangel, C. (2008). *Propiedades térmicas, acústicas y mecánicas de placas de mortero caucho-cemento*. En: "II Jornadas de Investigación en Construcción", 22/05/2008-24/05/2008, Madrid, España. ISBN 978-84-7292-367-6.

[22] Sarrión Sos, H. (2019). *Propiedades y aplicaciones de los polímeros sintéticos en la construcción* (Doctoral dissertation, Universitat Politècnica de València).

[23] López Cruz, José Alberto (2014). *Propiedades mecánicas del concreto modificado a base de fibras de nylon y polipropileno para su uso en elementos estructurales*. Licenciatura thesis, Universidad de San Carlos de Guatemala.

- [24] S. Herrero, P. Mayor, F. Hernández-Olivares, (2013). Influence of proportion and particle size gradation of rubber from end-of-life tires on mechanical, thermal and acoustic properties of plaster-rubber mortars, *Materials & Design*, Volume 47, 2013, Pages 633-642, ISSN 0261-3069.
- [25] Historia de las pelotas de tenis según la Federación Internacional de Tenis (ITF). Disponible en [:https://www.itftennis.com/media/2280/balls-history-of-tennis-balls.pdf](https://www.itftennis.com/media/2280/balls-history-of-tennis-balls.pdf) [3-Mar-2022]
- [26] Tennis University .Pelotas de tenis: La guía definitiva. Disponible en: <https://tennis-uni.com/es/pelotas-de-tenis/#content> [3-Mar-2022]
- [27] Fabricación de las pelotas de tenis según la Federación Internacional de Tenis (ITF). Disponible en: <https://www.itftennis.com/media/2167/balls-ball-manufacture.pdf> [3-Mar-2022]
- [28] Ecoembes. ¿Dónde se tiran las pelotas de tenis? Disponible en: <https://ecoembesdudasreciclaje.es/donde-se-tiran-las-pelotas-de-tenis/> [7-Mar-2022]
- [29] Decathlon reutiliza pelotas de tenis para fabricar chanclas. Disponible en: <https://medioambiente.decathlon.es/decathlon-contribuye-al-medio-ambiente-recuperando-pelotas-de-tenis-padel/#> [7-Mar-2022]
- [30] Pascal Box y el medio ambiente. Ciclo de vida de las pelotas de tenis y pádel. Disponible en: <https://pascalbox.com/pascal-box-y-el-medio-ambiente/> [7-Mar-2022]
- [31] Anuario de Estadísticas Deportivas 2021. Ministerio de Cultura y Deporte. Gobierno de España. Disponible en: <https://www.culturaydeporte.gob.es/dam/jcr:b24c68ad-75ff-48d0-aa1f-d57075f22e64/anuario-de-estadisticas-deportivas-2021.pdf> [11-Mar-2022]
- [32] Informe del sector de la construcción en España 2020. Economía de Hoy. Disponible en: <https://www.economiadehoy.es/adjuntos/82690/SOLUNION Informe sector de la construccion.pdf> [14-Mar-2022]
- [33] M. P. Mercader, A. Ramírez de Arellano y M. Olivares (2012). Modelo de cuantificación de las emisiones de CO2 producidas en edificación derivadas de los recursos materiales consumidos en su ejecución. *Informes de la Construcción* Vol. 64, 527, 401-414, julio-septiembre 2012 ISSN: 0020-0883 eISSN: 1988-3234 doi: 10.3989/ic.10.082
- [34] UNE-EN 520:2005/A1:2010, placas de yeso laminado. Definiciones, especificaciones y métodos de ensayo. Normas UNE.AENOR (Asociación Española de Normalización y Certificación Aenor).
- [35] UNE-EN 13963:2006, material de juntas para placas de yeso laminado. Definiciones, especificaciones y métodos de ensayo. Normas UNE.AENOR (Asociación Española de Normalización y Certificación Aenor).

[36] UNE-EN 102043, montaje de los sistemas constructivos con placa de yeso. Tabiques, techos y trasdosados. Definiciones, especificaciones y recomendaciones. Normas UNE.AENOR (Asociación Española de Normalización y Certificación Aenor).

[37] UNE-EN 13950:2014, placa de yeso con aislamiento térmico/acústico. Definiciones, especificaciones y métodos de ensayo. Normas UNE.AENOR (Asociación Española de Normalización y Certificación Aenor).

[38] UNE-EN13501-1:2007/A1:2010, clasificación en función del comportamiento frente al fuego de los productos de construcción y elementos para la edificación. Clasificación a partir de datos obtenidos en ensayos de reacción al fuego. Normas UNE.AENOR (Asociación Española de Normalización y Certificación Aenor).

[38] CTE- DB HR. Código Técnico de la Edificación. Documento Básico Protección frente al Ruido. Disponible en:

<https://www.codigotecnico.org/images/stories/pdf/proteccionRuido/DBHR.pdf> [3-Junio-2022]

[40] CTE- DB HE. Código Técnico de la Edificación. Documento Básico Ahorro de Energía. Disponible en:

<https://www.codigotecnico.org/images/stories/pdf/ahorroEnergia/DBHE.pdf> [3-Junio-2022]

[41] CTE- DB HS. Código Técnico de la Edificación. Documento Básico Salubridad. Disponible en:

<https://www.codigotecnico.org/images/stories/pdf/salubridad/DBHS.pdf> [3-Junio-2022]

[42] CTE- DB SI, Código Técnico de la Edificación. Documento Básico Seguridad en caso de Incendio. Disponible en:

<https://www.codigotecnico.org/images/stories/pdf/seguridadIncendio/DBSI.pdf> [3-Junio-2022]

[43] Proyecto Libertad 4 casas pareadas (2020). Queiro Arquitectura.

Disponible en:

<https://www.queiro.net/proyectos#/4-viviendas-pareadas-2/> [9-Junio-2022]

[44] Base de Costes de la Construcción de Andalucía (BCCA). Banco de precios.

Disponible en:

<https://www.juntadeandalucia.es/organismos/fomentoinfraestructurasyordenaciondelterritorio/areas/vivienda-rehabilitacion/planes-instrumentos/paginas/vivienda-bcca.html> [16-Junio-2022]

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

- FIG_01: Porcentaje de residuos sólidos generados en el año 2016 [2].
- FIG_02: Generación total de residuos proyectados [2].
- FIG_03: Demanda de plástico por países en Europa [8].
- FIG_04: Producción de la industria de los plásticos en la UE [8].
- FIG_05: Porcentaje de caucho utilizado por diferentes sectores industriales en 2016 [1]
- FIG_06: Economía circular de los neumáticos [1]
- FIG_07: Consumo del Nylon en España [14]
- FIG_08: Estructura de la pelota de tenis [26].
- FIG_09: Caucho caracterizado para producir pelotas de tenis [27].
- FIG_10: Semiesferas de caucho para producir pelotas de tenis [27].
- FIG_11: Sellado de ambas semiesferas de caucho [27].
- FIG_12: Aplicación de adhesivo para la fibra de nailon [27].
- FIG_13: Aplicación de la cara exterior fibra de nailon [27].
- FIG_14: Gráfico licencias federativas por deportes en España.[31].
- FIG_15: Personas que practican deporte semanalmente según modalidad deportiva en España.[31]
- FIG_16: Contenedor para reciclaje pelotas de tenis #DOBLEREBOTE [29].
- FIG_17: Ciclo de vida de las pelotas de tenis [30].
- FIG_18: Emisiones CO2 pelota de tenis. Ciclo de vida.[30]
- FIG_19: Porcentaje de sectores de la construcción en España.[32]
- FIG_20: Principales materiales empleados en la construcción en España. [32]
- FIG_21: Material primas con mayor incremento de precio en España. [32]
- FIG_22: Molde de las probetas.
- FIG_23: Réplica del molde llena de aditivos.
- FIG_24: Procedimiento de corte de las pelotas de tenis
- FIG_25: Tamices utilizados para la granulometría.
- FIG_26: Proceso de tamizado.
- FIG_27: Mediciones con báscula de precisión.
- FIG_28: Equipo y materiales. Laboratorio de Construcción de la ETSA.
- FIG_29: Molde de las probetas tras la aplicación del desencofrante.
- FIG_30: Materiales pesados para la mezcla de yeso y residuos de pelotas de tenis.
- FIG_31: Proceso de mezcla de los materiales y vertido en el molde de las probetas.
- FIG_32: Desmolde de las probetas y marcado correspondiente.
- FIG_33: Medida de precisión de las dimensiones de las probetas.
- FIG_34: Prensa multiensayo. Laboratorio de Construcción de la ETSA.
- FIG_35: Probetas de referencia tras rotura en ensayo de resistencia a flexión.
- FIG_36: Probetas con dosificación 4% tras rotura en ensayo de resistencia a flexión.
- FIG_37: Probetas con dosificación 8% tras rotura en ensayo de resistencia a flexión.
- FIG_38: Probetas con dosificación 12% tras rotura en ensayo de resistencia a flexión.
- FIG_39: Probeta rota tras ensayo de carga a flexión en prensa.
- FIG_40: Tabla datos de conductividad térmica del estudio previo de referencia [24].
- FIG_41: Catálogo KNAUF. Techos suspendidos D11. Pág. 11
- FIG_42: Catálogo KNAUF. Placa de yeso laminado K711B. Pág. 02
- FIG_43: Tabla emisiones de CO2 por Kg de material y m2 construidos. [33].
- FIG_44: Planta baja V1-V2. Viviendas pareadas Libertad.
- FIG_45: Planta primera V1-V2. Viviendas pareadas Libertad.
- FIG_46: Disposición falso techo en planta baja V2. Viviendas pareadas Libertad.
- FIG_47: Disposición falso techo en planta primera V2. Viviendas pareadas Libertad.

ÍNDICE DE GRÁFICAS

- GRÁFICA_01: Elementos químicos. [1]
- GRÁFICA_02: Elementos orgánicos.Fuente: Elaboración propia
- GRÁFICA_03: % Sustitución –Densidad aparente. Elaboración propia.
- GRÁFICA_04: Probetas de referencia. Densidad–Resistencia a flexión.Elaboración propia.
- GRÁFICA_05: Probetas 4%. Densidad–Resistencia a flexión.Elaboración propia.
- GRÁFICA_06: Probetas 8%. Densidad–Resistencia a flexión.Elaboración propia.
- GRÁFICA_07: Probetas 12%. Densidad–Resistencia a flexión.Elaboración propia.
- GRÁFICA_08: Probetas ref. Analizadas.Densidad–Resistencia a flexión.Elaboración propia.
- GRÁFICA_09: Probetas 4% Analizadas.Densidad–Resistencia a flexión.Elaboración propia.
- GRÁFICA_10: Probetas 8% Analizadas. Densidad–Resistencia a flexión.Elaboración propia.
- GRÁFICA_11: Probetas 12% Analizadas.Densidad–Resistencia a flexión.Elaboración propia.
- GRÁFICA_12: % Sustitución - Resistencia a flexión.Elaboración propia.
- GRÁFICA_13: Probetas referencia.Resist a compresión A–Resist a compresión B.Elaboración propia
- GRÁFICA_14: Probetas 4%. Resist a compresión A–Resist a compresión B.Elaboración propia
- GRÁFICA_15: Probetas 8%. Resist a compresión A–Resist a compresión B.Elaboración propia
- GRÁFICA_16: Probetas 12%. Resist a compresión A–Resist a compresión B.Elaboración propia
- GRÁFICA_17: Probetas ref Analizada.Resist a compresión A–Resist a compresión B.Elaboración propia
- GRÁFICA_18: Probetas 4%Analizada.Resist a compresión A–Resist a compresión B.Elaboración propia
- GRÁFICA_19: Probetas 8%Analizada.Resist a compresión A–Resist a compresión B.Elaboración propia
- GRÁFICA_20: Probetas 12%Analizada.Resist a compresiónA–Resist a compresiónB.Elaboración propia
- GRÁFICA_21: % Sustitución -Resistencia a compresión A. Elaboración propia.
- GRÁFICA_22: % Sustitución -Resistencia a compresión B. Elaboración propia.
- GRÁFICA_23:%Sustitución -%Pérdida respecto a referencia.Densidad aparente. Elaboración propia.
- GRÁFICA_24:%Sustitución -%Pérdida respecto a referencia.Resistencia a flexión Elaboración propia
- GRÁFICA_25:%Sustitución-%Pérdida respecto a referencia.Resist. compresión.Elaboración propia.
- GRÁFICA_26: Representación gráfica de los datos del estudio previo de referencia [24]. Elaboración propia.

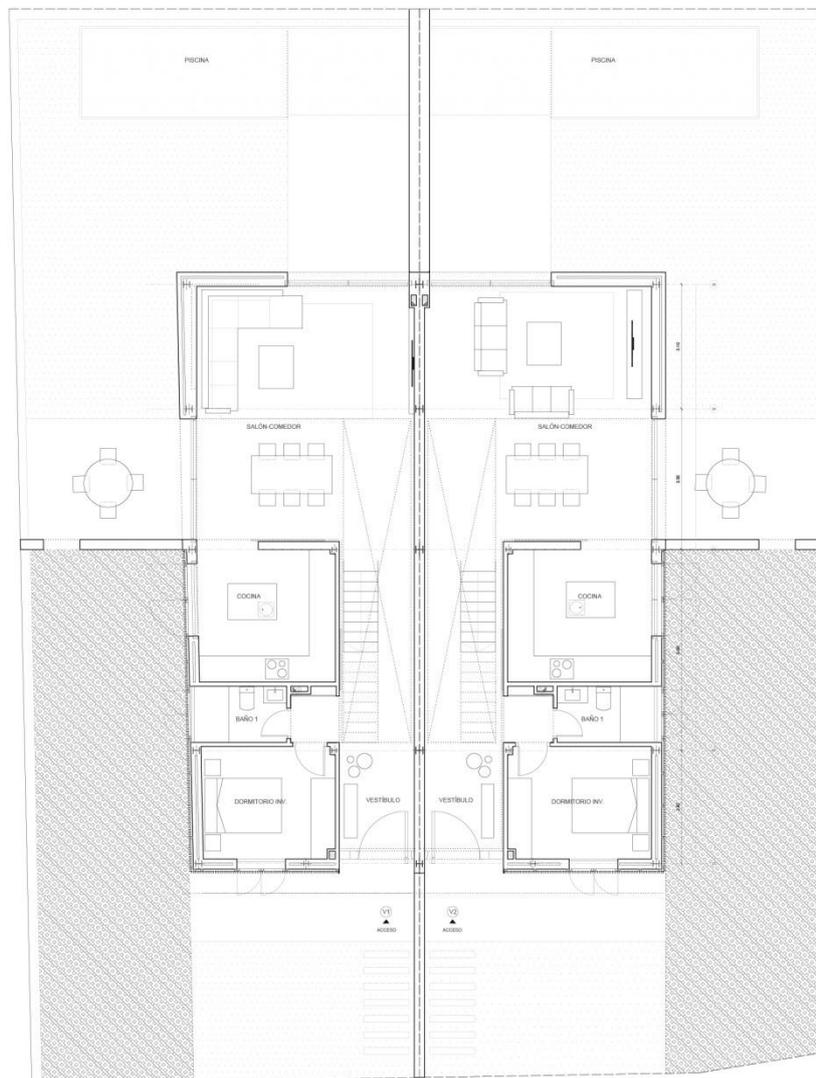
ÍNDICE DE TABLAS

- TABLA_01: Dosificaciones por probetas. Fuente: Elaboración propia
- TABLA_02: Dosificaciones totales de probetas y sumatorios. Fuente: Elaboración propia
- TABLA_03: Datos granulometría mediante tamices. Fuente: Elaboración propia
- TABLA_04: Caracterización del peso unitario. Fuente: Elaboración propia
- TABLA_05: Dosificaciones totales de probetas. Fuente: Elaboración propia
- TABLA_06: Densidad aparente. Fuente: Elaboración propia
- TABLA_07: Resistencia a flexión. Fuente: Elaboración propia.
- TABLA_08: Resistencia a flexión Analizada: Elaboración propia
- TABLA_09: Resistencia a compresión: Elaboración propia
- TABLA_10: Resistencia a compresión Analizada: Elaboración propia
- TABLA_11: Medias de densidad aparente: Elaboración propia
- TABLA_12: Medias de resistencia a flexión: Elaboración propia
- TABLA_13: Medias de resistencia a compresión: Elaboración propia
- TABLA_14: Valores de conductividad térmica teórica en base a extrapolación[24]:
Elaboración propia.
- TABLA_15: Dosificación material compuesto del producto propuesto. Elaboración propia.
- TABLA_16: Comparativa ahorro y reutilización material compuesto. Elaboración propia.
- TABLA_17: Características panel compuesto yeso-pelota de tenis propuesto. Elaboración propia.
- TABLA_18: Resultados comparativos en el caso práctico. Elaboración propia.

12. ANEXOS

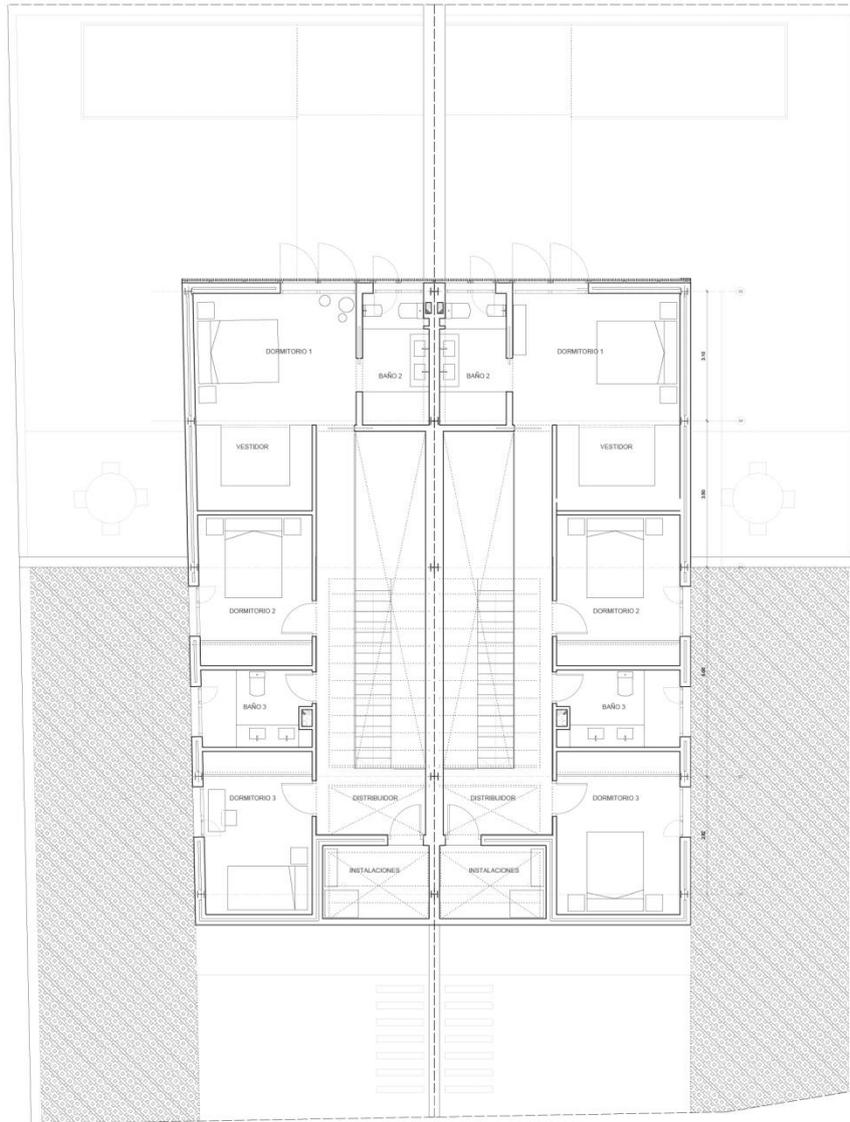
12. ANEXOS

ANEXO1. IMÁGENES Y PLANIMETRÍA PROYECTO LIBERTAD.



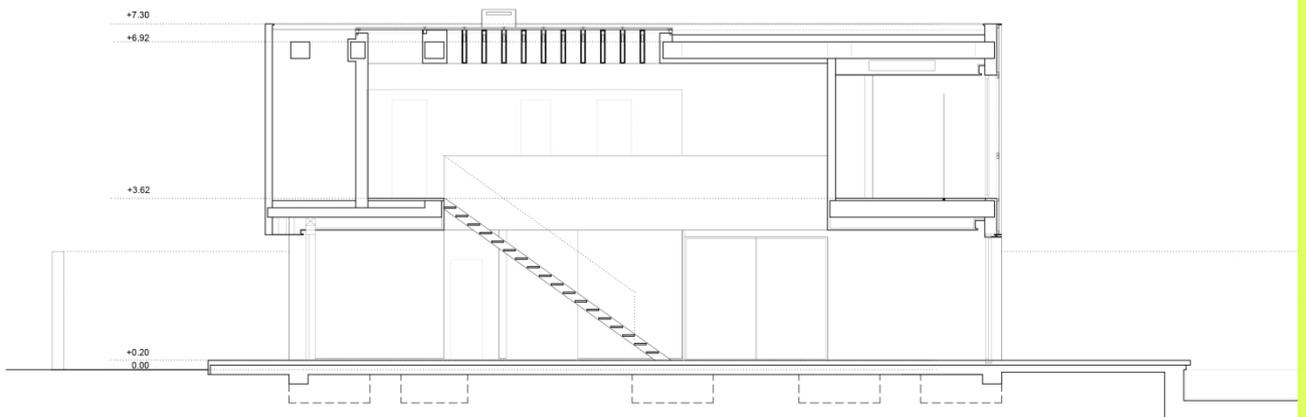
PROPUESTA
PLANTA BAJA V1, V2

0.5 1m



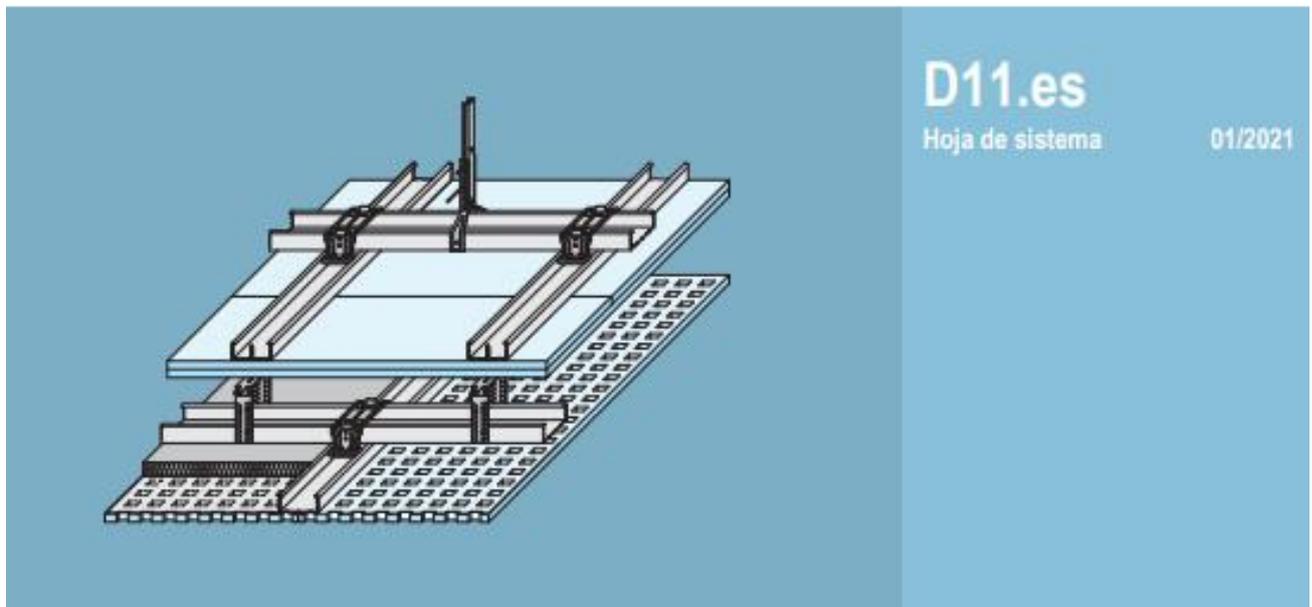
PROPUESTA
PLANTA PRIMERA|VI. V2

0.5 1m



PROPUESTA
SECCIÓN LONGITUDINAL|VI

ANEXO 2. CATÁLOGO KNAUF SISTEMA TECHO SUSPENDIDO D11.



D11.es Knauf Techos Suspendidos

D112a.es Techo suspendido Knauf con estructura metálica F47/17 a distinto nivel

D112b.es Techo suspendido Knauf con estructura metálica CD 60/27 a distinto nivel

D113.es Techo suspendido Knauf con estructura metálica CD 60/27 al mismo nivel

D114.es Techo Suspendido Knauf con estructura metálica Perfil Sierra SR con CD 60/27 - F47/17

D11.es Knauf Techos Suspendidos

Datos Técnicos

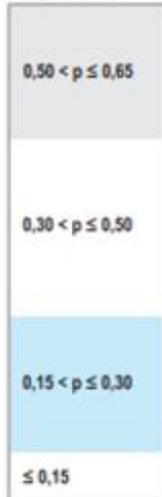


Cálculo del techo y limitaciones

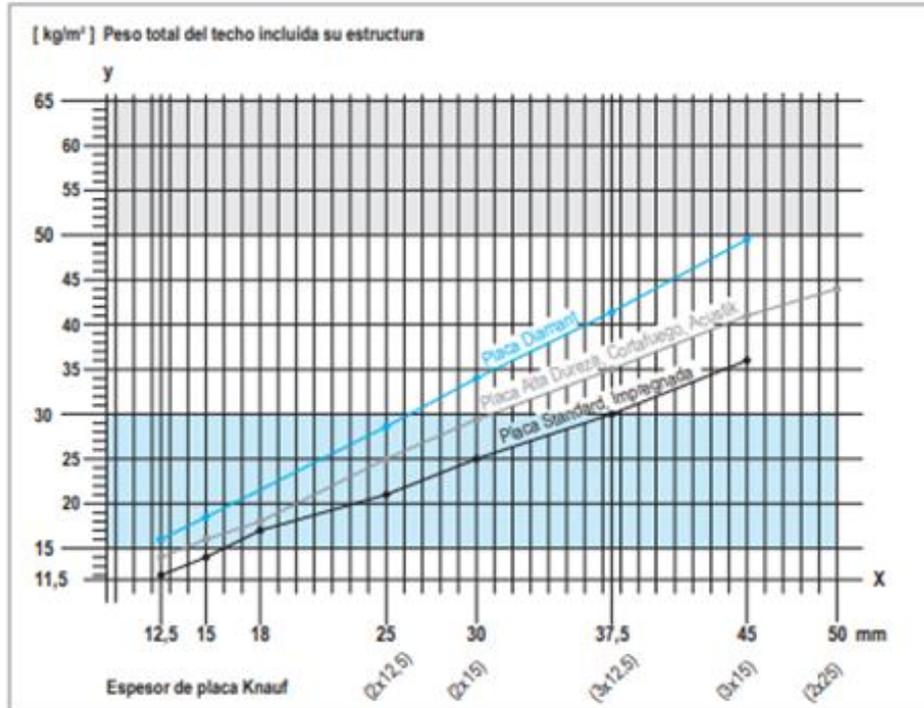
1. Peso del Techo Suspendido con estructura, en dependencia del espesor de placas

En dependencia del espesor total de placas (eje X) se sube en vertical hasta alcanzar la línea diagonal. Desde este punto, se traza una horizontal hasta llegar al eje vertical (eje Y) y se obtiene el peso total del techo con su estructura en kg/m².

Rango (kN/m²)



Cálculo para techos ≥ 0,50 kN/m² según DIN 18168



2. Sobrecarga de uso

Se considerará una carga de uso de 5 kg/m², que ya tiene en cuenta las lanas minerales, carga de viento y la posibilidad de colgar un elemento.

3. Cargas adicionales

Cualquier carga que no contemple las anteriores, como pueden ser pesos colgados que superen el valor indicado.

Ejemplo de cálculo del peso de un techo suspendido:

Un techo suspendido con una placa de 15 mm está en el rango de 0 a 15 kg/m². Se añade la sobrecarga de lana mineral, hay que sumarle su peso: 3 kg/m². Esto hace un total de 17 kg/m² por lo que se encontraría en el rango de 15 a 30 kg/m². Esto servirá más adelante para calcular la distancia entre cuelgues y entre perfiles del techo suspendido.

Pasos a seguir:

- 1- Definir la altura de descuelgue del Techo suspendido.
- 2- Calcular el peso del techo suspendido por medio de la gráfica correspondiente arriba indicada.
- 3- Agregar a este peso la sobrecarga de uso del mismo (lana mineral, viento...) y las adicionales.
- 4- Con el peso total, se calculan las distancias "a" (entre cuelgues), "c" (entre perfiles primarios) y tipo de cuelgue adecuado (según cada tipología de sistema).
- 5- Definir la disposición de instalación de las placas (longitudinal o transversal)
- 6- Dependiendo del tipo de placa, espesor de la misma y de su disposición de instalación, se calcula la distancia "b" (entre perfiles secundarios).
- 7- Se deberá elegir el tipo adecuado de tornillo para cada una de las distintas capas de placa.

Si se requiere una protección al fuego determinada, las condiciones son más estrictas. Para ello ver página 13: Sistemas con resistencia al fuego.

Limitaciones

- a) Utilizar siempre los perfiles adecuados. En cada caso, el cálculo del techo se realiza teniendo en cuenta la inercia del perfil. Si se utiliza otro tipo de perfil al que se indica en cada caso, las distancias indicadas en las tablas no son válidas y hay que volver a calcularlo y ensayar para homologarlo.
- b) La estructura debe ser flotante y libre de coacciones, para ello:
 - 1- En el dorso de los perfiles perimetrales se deberá pegar la banda acústica ya que además de atenuar la transmisión de vibraciones, en este caso sirve para absorber las posibles dilataciones producidas por los cambios de temperatura.
 - 2- Los perfiles no deberán estar stomilados en su cruce. Utilizar para ello el "Caballete" / "Empalme en cruz" que se coloca a presión y permite libertad de movimientos de dilatación.
 - 3- Los elementos de cuelgues deben situarse en el centro de gravedad de los perfiles y no deben estar atomilados a estos. No se admiten cuelgues fabricados "in situ". Los cuelgues deben estar ensayados y trabajar con un coeficiente de seguridad de como mínimo 3.
- c) Las separaciones de los cuelgues y perfiles no siempre son las mismas. Deben ser calculadas. Hay que respetar asimismo la separación entre tornillos.
- d) No se deben perforar ni cortar los perfiles, sin un refuerzo coherente, para evitar su debilidad.
- e) Se deben respetar las condiciones de borde del techo (distancias al primer cuelgue, fijaciones, etc.)

D11.es Knauf Techos Suspendedos

Altura mínima de techo suspendido con maestra F47/17 / Cuelgues y cargas permitidas



Altura mínima del techo suspendido altura mínima de descuelgue: longitud de cuelgue + altura del perfil + espesor de placa

Sistema	Cuelgues	Perfiles	Placa
	Anclaje directo Suspensión B Cuelgue multifix Pivot y anclaje universal	Maestra F47/17 b x h mm	Altura total mm en mm 12,5 15 2x12,5
D11 con F47/17 Una dirección	≤ 105 75-450 ≥ 105 ≥ 40	47x17,5	17,5 • • •
D112 con F47/17 Dos direcciones	≤ 105 75-450 ≥ 105 ≥ 40	47x17,5+47x17,5	35 • • •

Ejemplo de cálculo: Para calcular el descuelgue mínimo de un techo suspendido D112 con maestra F47/17 colgado con suspensión B-75 (75 mm) y doble placa (2x12,5 mm) resulta: 75+35+25 = 135 mm

Cuelgues y cargas permitidas

Carga máxima permitida 0,4 kN (40 kg)

Suspensión B

De 75 a 450 mm para maestra F47/17



Anclaje Directo

para maestra F47/17



Pivot y Anclaje Universal

con varilla roscada



Carga máxima permitida 0,25 kN (25 kg)

Cuelgue Multifix

para maestra F47/17



Suspendido con Varilla de Cuelgue



Escuadra

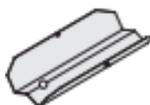
para maestra F47/17



Empalmes

Empalme y conexiones

para maestra F47/17

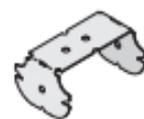


Conector en cruz

para maestra F47/17



Caballote F47/17

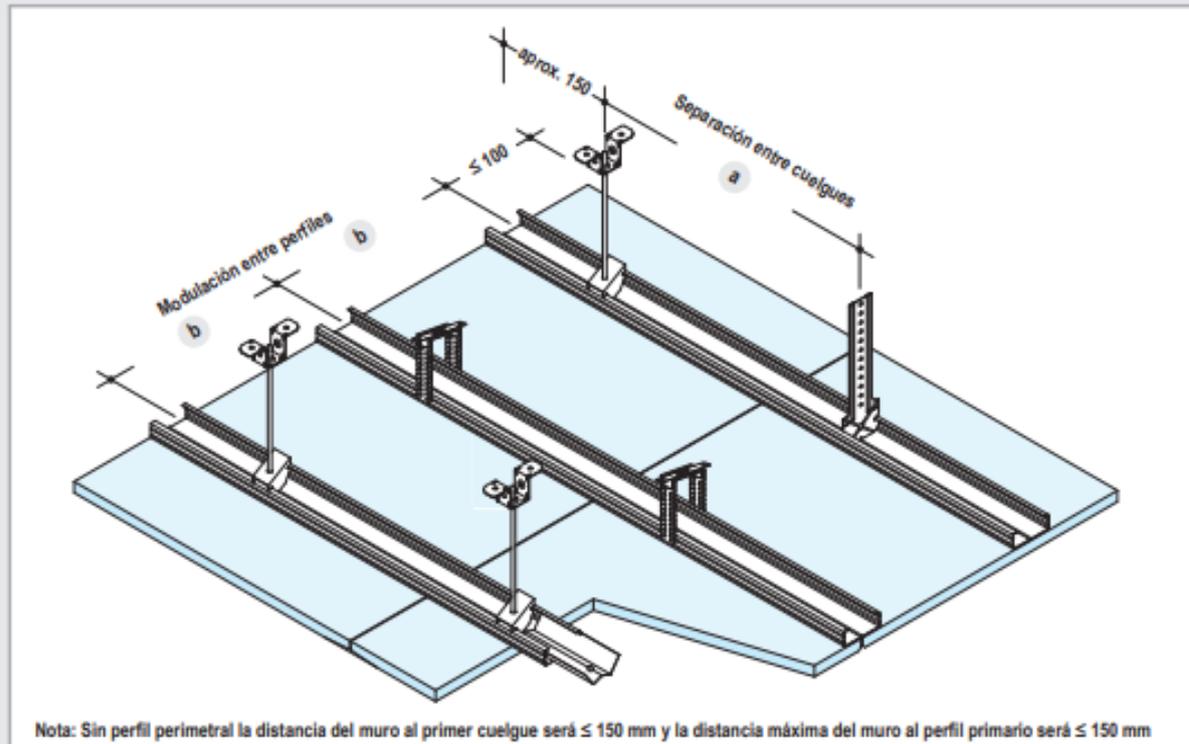


D11.es Knauf Techos Suspendidos

Con maestra F47/17 en una dirección



Perfil Primario



Cuelgues y sujeciones

- Suspensión B (75 a 450 mm): 0,4 kN *
- Anclaje directo para maestra F47/17: 0,4 kN *
- Pivot con Varilla y Anclaje Universal: 0,4 kN *
- Cuelgue Multifix: 0,25 kN *
- Empalme para maestra F47/17

* Carga máxima permitida

Separación de estructura

Estructura	Separación entre Cuelgues a	Modulación entre Perfiles b																					
Fijado directamente o colgado al forjado	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Rango ρ</th> <th>Separación entre cuelgues</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>$\leq 0,15$</td> <td>1200</td> </tr> <tr> <td>$0,15 < \rho \leq 0,30$</td> <td>1000</td> </tr> <tr> <td>$0,30 < \rho \leq 0,50$</td> <td>750</td> </tr> </tbody> </table> <p>Carga máx. por cuelgue $\leq 0,25$ kN/mm</p>	Rango ρ	Separación entre cuelgues	$\leq 0,15$	1200	$0,15 < \rho \leq 0,30$	1000	$0,30 < \rho \leq 0,50$	750	<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Placa</th> <th colspan="2">Sep. entre perfiles mm</th> </tr> <tr> <th>Espeor mm</th> <th>Transversal</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Standard A</td> <td>12,5</td> <td rowspan="2">500</td> </tr> <tr> <td>o</td> <td>2x12,5</td> </tr> <tr> <td>Impregnada H1</td> <td>15</td> <td>550</td> </tr> </tbody> </table> <p>Longitudinal: 400</p>	Placa	Sep. entre perfiles mm		Espeor mm	Transversal	Standard A	12,5	500	o	2x12,5	Impregnada H1	15	550
	Rango ρ	Separación entre cuelgues																					
$\leq 0,15$	1200																						
$0,15 < \rho \leq 0,30$	1000																						
$0,30 < \rho \leq 0,50$	750																						
Placa	Sep. entre perfiles mm																						
	Espeor mm	Transversal																					
Standard A	12,5	500																					
o	2x12,5																						
Impregnada H1	15	550																					

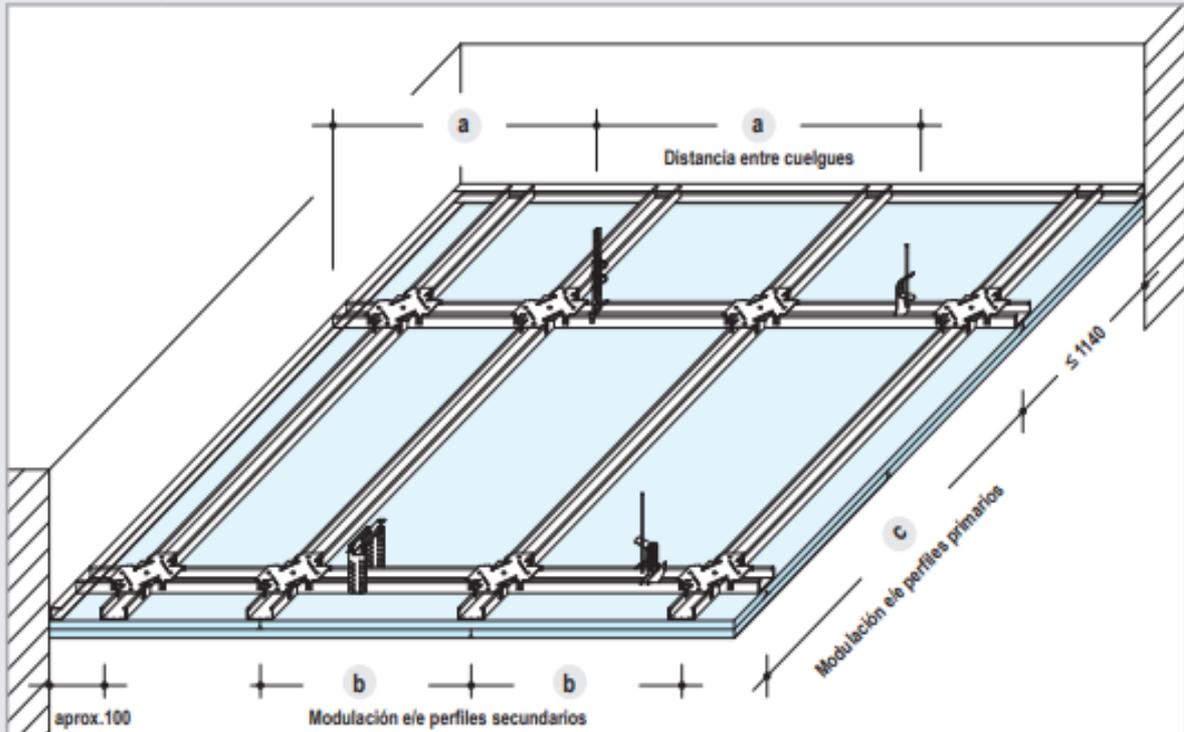
4

D113.es Knauf Techos Suspendidos

Con maestra CD 60/27 y estructura metálica al mismo nivel



Perfiles primarios y secundarios al mismo nivel



Separación máxima de la estructura

- Sin resistencia al fuego

Distancia entre Primarios c	Distancia entre Cuelgues a Rango kN/m ² (Ver página 2)		
	≤ 0,15	≤ 0,30	≤ 0,50 ¹⁾
1200	1100	-	-
	-	650	-
	-	-	650

1) Utilizar cuelgues con capacidad de carga de 0,40 kN

Unión entre primarios y secundarios

Empalme en cruz



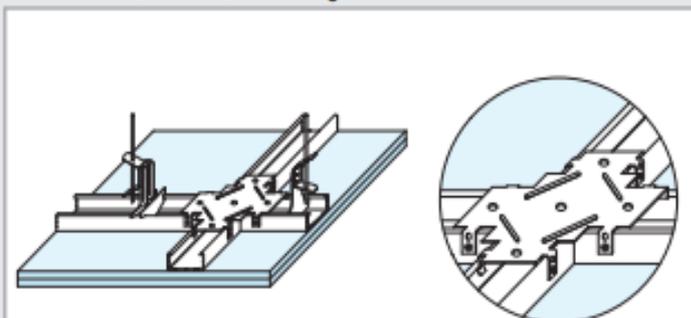
Para sistemas sin resistencia al fuego, doblar las lengüetas sobre la maestra CD 60/27 para unir los perfiles primarios y secundarios.

Separación máxima entre secundarios

- Sin resistencia al fuego

Espesor placa mm	Placa Transversal a los secundarios mm	b
12,5 / 2x12,5	500	En caso de protección al fuego, ver otras soluciones en página 13
15	550	
18	600	

Sistema D113.es con resistencia al fuego



Ver modulaciones y espesores de placa en página 13

Se deben doblar y atornillar las lengüetas del empalme en cruz al perfil 60/27 con tornillos LN 3,5 x 9 mm.

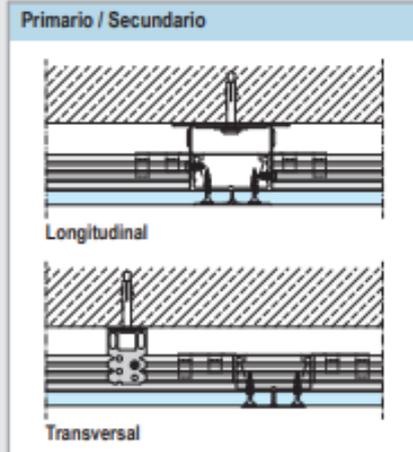
La longitud de los perfiles secundarios es de 114 cm.

D113.es Knauf Techos Suspendidos

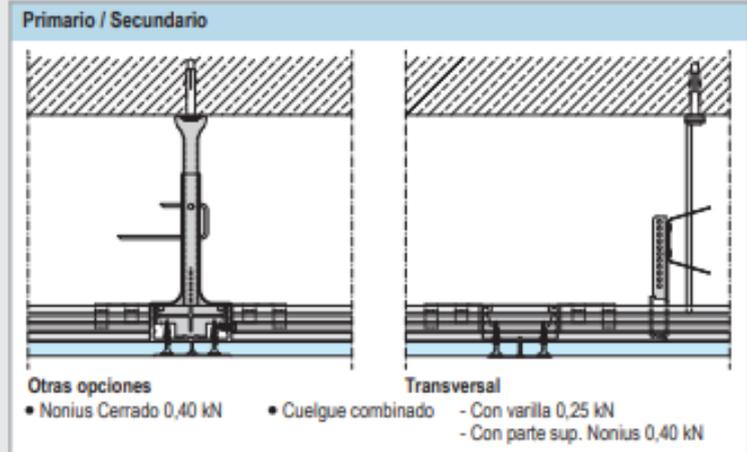
Con maestra CD 60/27 y estructura metálica al mismo nivel



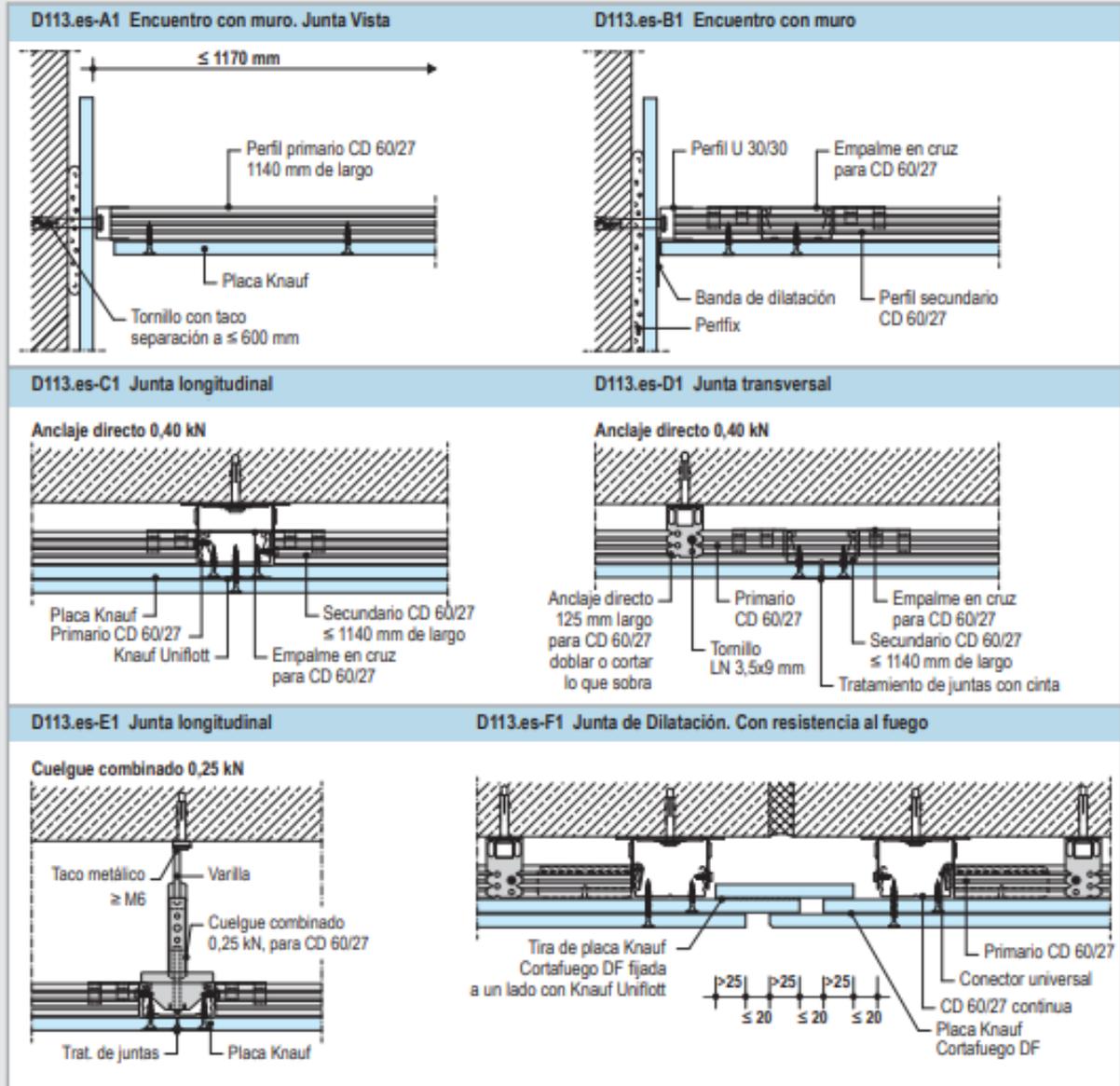
Anclaje directo hasta 0,40 kN



Suspendido, ej. Cuelgue Nonius hasta 0,40 kN



Detalles E 1:5



D11.es Knauf Techos Suspendidos

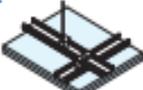
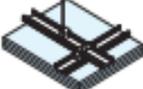
Resistencia al fuego



Sistemas con protección al fuego

Los techos suspendidos con resistencia al fuego son sistemas compuestos por placas de yeso laminado Knauf Cortafuego DF o Knauf Diamant DFH1IR y una estructura de perfiles metálicos de maestra CD60/27 o F47/17 que están suspendidos del forjado o estructura portante del edificio. De acuerdo a su composición en tipo, espesor y número de placas mantienen una resistencia al fuego determinada, según la norma de ensayo UNE-EN 1364-2 "Resistencia al fuego de elementos no portantes. Parte 2: Falsos Techos". Los sistemas de techos suspendidos con resistencia al fuego EI60, EI90 y EI120 pueden disponer de accesorios como trampillas de acceso o registros de forma cuadrada y rectangular, quedando integrada dentro del propio techo suspendido continuo y garantizando la misma resistencia al fuego desde abajo del conjunto.

Configuración del sistema

Techo suspendido con protección al fuego desde abajo Con estructura en dos direcciones sin colaboración del forjado	Resistencia al fuego	Perfil Maestra	Sistema constructivo Espesor y tipo de placa mm	Distancia estructura de soporte			N° de ensayo
				Perfil sec. b mm	Cuelgues a mm	Perfil prim. c mm	
 D112	EI 30'	CD 60/27	2x12,5 A	400	720	1000	E-069520-003
			 D113	2x12,5 A	400	600	1200
 D113	EI 45'	CD 60/27	25 DF	500	600	1200	16-11680-113
 D112	EI 60'	F47/17	2x15 DF	500	750	1000	060853-002
		CD 60/27	2x15 DF	400	700	800	E-069520-002
 D113		CD 60/27	2x15 DF	400	600	1200	E-063910-001
 D112	EI 90'	F47/17	3x12,5 DF	500	700	800	066211-001
		CD 60/27	3x12,5 DF	500	700	800	E-079196-001
 D113		CD 60/27	3x12,5 DF	400	600	1200	E-069520-001
 D112	EI 120'	CD 60/27	2x25 DF	400	700	800	E-63910-002
		 D113	CD 60/27	2x25 DF	400	600	1200

D11.es Knauf Techos Suspendidos

Acústica



Sistemas con aislamiento acústico

Los techos suspendidos continuos ofrecen una mejora del aislamiento acústico al forjado bajo el que se instalan. En la siguiente tabla se muestran los valores de mejora del índice de reducción acústica de diferentes techos con placa Knauf Standard A ensayados bajo forjado normalizado de hormigón, dependiendo del espesor de placa, la profundidad del plénum y el espesor de lana mineral. No obstante, es posible conseguir mayores incrementos empleando placas especiales para aislamiento acústico, como son Knauf Acústik DFI, Knauf Diamant DFH1IR y Knauf Silentboard DFR.

Aislamiento acústico a ruido aéreo

Techo suspendido bajo forjado normalizado de hormigón armado (140 mm, 350 kg/m³)		Placas mm	Lana mineral ⁽¹⁾ mm	Mejora del índice de reducción acústica			
				Cámara de aire ⁽²⁾			
				≥ 100 mm		≥ 150 mm	
		ΔR_w (dB)	ΔR_a (dBA)	ΔR_w (dB)	ΔR_a (dBA)		
		15	≥ 50	16	14	17	15
		15	≥ 80	18	15	18	15
		2x 12,5	≥ 50	18	15	18	15

(1) Lana mineral según UNE-EN 13162 con resistividad al flujo del aire $r \geq 5 \text{ kPa}\cdot\text{m}^2$ / (2) Espesor de cámara de aire sin tener en cuenta la lana mineral

Detalles E 1:5

D112b.es-A1 Encuentro con muro

D112b.es-B1 Encuentro con Tabique

D112a.es-C1 Encuentro con tabique W115

D11.es Knauf Techos Suspendidos

Listado de materiales



Materiales sin tener en cuenta pérdidas por corte ni perforaciones. Para su realización se ha calculado un techo de 10x10= 100 m²

Referencia	Unidad	Cantidades promedio									
		D112 con CD 60/27			D112 con F47/17						
		1	2	3	1 dirección		2 direcciones				
<i>En cursiva: material no comercializado por Knauf</i>											
Perfil perimetral											
Perfil U 30/30; long. 3 m	m	0,4	0,4	0,4	-	-	-	-	-	-	-
Perfil Clip 18 (17x20x28); long. 3 m	m	-	-	-	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
<i>Para anclar al techo, utilizar el material adecuado</i> Taco metálico ≥ M6 (para forjados de hormigón)	u	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Cuelgues / Estructura / Accesorios											
opc. Taco metálico ≥ M6 (para forjados de hormigón) otro material adecuado	u	1,2	1,5	2,3	1,52	1,98	1,3	1,5	1,5		
Anclaje directo para CD 60/27 / F47/17	u	1,2	1,5	2,3	1,2	1,5	1,2	1,5	2,3		
Tomillos 2x LN 3,5x9 mm (p/ atornillar al perfil CD 60/27)	u	2,4	3,0	4,6	2,4	3,0	2,4	3,0	4,6		
o Cuelgue combinado / Cuelgue CD 60/27 (con varilla lisa)	u	1,2	1,5	2,3	-	-	-	-	-		
o Parte superior Nonius		1,2	1,5	2,3	-	-	-	1,5	2,3		
Seguro Nonius		1,2	1,5	2,3	-	-	-	1,5	2,3		
Cuelgue Nonius	u	1,2	1,5	2,3	-	-	-	1,5	2,3		
Tomillos 2x LN 3,5x9 mm (p/ atornillar al perfil CD 60/27)	u	-	-	4,6	-	-	-	-	-		
opc. Cuelgue combinado para CD 60/27 (parte sup. Nonius)	u	1,2	1,5	2,3	-	-	-	-	-		
opc. Nonius cerrado para CD 60/27	u	1,2	1,5	2,3	-	-	-	-	-		
Varilla roscada		-	-	-							
Pivot		-	-	-							
Cuelgue Multiflix		-	-	-	1,52	1,98	1,3	1,5	1,5		
Varilla de cuelgue		-	-	-							
Suspensión B		-	-	-							
Maestra CD 60/27x0,6; long. 4 m	m	3,2	3,2	4,0	-	-	-	-	-		
Conector para CD 60/27	u	0,6	0,6	0,7	-	-	-	-	-		
Maestra F47/17; (long. 3 m)	m	-	-	-	1,9	1,8	3,2	3,2	3,2		
Empalme 47	u	-	-	-	0,4	0,4	0,6	0,6	0,6		
Banda acústica; (rollo 30 m)	m	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4		
opc. Caballete para CD 60/27	u	2,3	2,3	2,9	-	-	-	-	-		
Escuadra de cuelgue para CD 60/27	u	4,6	4,6	5,8	-	-	-	-	-		
Caballete F47/17		-	-	-	-	-	2,3	2,3	2,3		
Escuadra de cuelgue 47		-	-	-	-	-	4,6	4,6	4,6		
Lana mineral *	m ²	s/n	s/n	s/n	s/n	s/n	s/n	s/n	s/n	s/n	s/n
Placas Knauf Standard A, Impregnada H1, Alta dureza DI, Cortafuego DF, Diamant DFH1IR, AcustiK DFI	m ²	1	2	3	1	2	1	2	3		
Tornillos Knauf (para fijar las placas)											
TN 3,5 x 25 mm	u	17	9	18	12	12	17	17	9		
TN 3,5 x 35 mm	u	-	-	-	-	-	-	-	17		
TN 3,5 x 45 mm	u	-	17	18	-	-	-	17	-		
TN 3,5 x 55 mm	u	-	-	18	-	-	-	-	17		
Acabados											
Banda de dilatación	m	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4		
Knauf Uniflott (trabajo a mano); saco de 25 kg o Saco de 5 kg	kg	0,3	0,5	0,8	0,3	0,35	0,3	0,4	0,5		
Knauf Unik; Saco de 20 kg o Saco de 5 kg	kg	0,3	0,5	0,8	0,3	0,35	0,3	0,4	0,5		
Knauf Jointfiller 24H (trabajo a mano o máquina); Saco de 20 kg	kg	0,4	0,6	0,9	0,4	0,4	0,4	0,6	0,6		
Cinta de juntas; (rollo 23 m/150 m)	m	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45		

* Opcional según requisitos de aislamiento acústico

s/n: según necesidad

D11.es Knauf Techos Suspendidos

Listado de materiales / Separación de tornillos



Materiales sin tener en cuenta pérdidas por corte ni perforaciones. Para su realización se ha calculado un techo de 10x10= 100 m²

Referencia	Unidad	Cantidades promedio				
		D114.es		D113.es		
		1	2	1	2	3
<i>En cursiva: material no comercializado por Knauf</i>						
Perfil perimetral						
Perfil U 30/30; long. 3 m	m	-	-	0,4	0,4	0,4
Perfil Clip 18 (17x20x28); long. 3 m	m	0,4	0,4	-	-	-
<i>Para anclar al techo, utilizar el material adecuado</i>						
Taco metálico ≥ M6 (para forjados de hormigón)	u	0,8	0,8	0,7	0,7	0,7
Cuelgues / Estructura / Accesorios						
<i>opc. Taco metálico ≥ M6 (para forjados de hormigón)</i>	u	1,1	1,4	0,7	1,2	1,2
<i>opc. otro material adecuado</i>						
Anclaje directo para CD 60/27	u	-	-	0,7	1,2	1,2
Tomillos 2x LN 3,5x9 mm (p/ atornillar al perfil CD 60/27)	u	-	-	1,4	2,4	2,4
Cuelgue combinado / Cuelgue CD 60/27						
con varilla lisa	u	-	-	0,7	1,2	-
<i>opc. Varilla roscada</i>	u	1,1	1,4	-	-	-
<i>o 2x Tuerca y 1x arandela</i>	u	1,1	1,4	-	-	-
Parte superior Nonius						
Seguro Nonius	u	-	-	0,7	1,2	2,3
Cuelgue Nonius	u	-	-	0,7	1,2	2,3
Tomillos 2x LN 3,5x9 mm (p/ atornillar al perfil CD 60/27)	u	-	-	-	-	-
<i>opc. Cuelgue combinado para CD 60/27 (parte sup. Nonius)</i>	u	-	-	0,7	1,2	2,3
<i>opc. Conector universal (para prolongar perfiles 60/27)</i>	u	-	-	0,7	1,2	1,2
Tomillos punta broca 2x LB 3,5x9,5 mm	u	-	-	-	2,4*	4,6*
Maestra CD 60/27x0,6; long. 4 m	m	2,1	2,1	0,8	0,8	0,8
Conector para CD 60/27	u	0,4	0,4	0,2	0,3	0,3
Maestra CD 60/27x0,6; long. 1,14 m	m	-	-	2,1	2,8	2,8
Empalme en cruz para CD 60/27	u	-	-	1,9	2,4	2,4
Tomillos 4x LN 3,5x9 mm (p/ atornillar al perfil 60/27)	u	-	-	-	-	-
Maestra F47/17; long. 3 m	m	2,1	2,1	-	-	-
Perfil Sierra SR 47x25x0,7; long. 3 m	m	1	1	-	-	-
Banda acústica; (rollo 30 m)	m	-	-	0,4	0,4	0,4
Lana mineral **	m ²	s/n	s/n	s/n	s/n	s/n
Placas Knauf Standard, Impregnada, Alta dureza, Cortafuego, Diamant, Acustik	m ²	1	2	1	2	3
Tornillos Knauf (para fijar las placas)						
TN 3,5 x 25 mm	u	17	9	27	9	-
TN 3,5 x 35 mm	u	-	17	-	27	-
TN 3,5 x 45 mm	u	-	-	-	27	20
TN 4,2 x 70 mm	u	-	-	-	-	26
Acabados						
Banda de dilatación	m	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Knauf Uniflott (trabajo a mano); saco de 25 kg o Saco de 5 kg	kg	0,3	0,5	0,3	0,5	0,5
Knauf Unik; Saco de 20 kg o Saco de 5 kg	kg	0,3	0,5	0,3	0,5	0,5
Knauf Jointfliter 24H (trabajo a mano o máquina); Saco de 20 kg	kg	0,4	0,6	0,4	0,6	0,6
Cinta de juntas; (rollo 23 m/150 m)	m	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45

* solo en caso de resistencia al fuego / ** Opcional según requisitos de aislamiento acústico

s/n: según necesidad

Separación de tornillos

Placa Knauf	Espesor (mm)	Tornillo autoperforante	Separación (mm)
Standard A, Impregnada H1, Cortafuego DF, Alta dureza DI, Diamant DFH11, Acustik DFI	12,5 o 15	TN 3,5 x 25	200
	2x12,5	TN 3,5 x 25 + TN 3,5 x 35	200 *
	2x15	TN 3,5 x 25 + TN 3,5 x 45	200 *
	3x12,5	TN 3,5 x 25 + TN 3,5 x 35 + TN 3,9 x 55	200 *
	2x25	TN 3,5 x 45 + TN 4,2 x 70	200

* Si el atornillado de ambas placas se realizan el mismo día, la separación entre los tornillos de la primera, se puede extender hasta 500 mm (excepto en caso de resistencia al fuego).

ANEXO 3. CATÁLOGO KNAUF PLACA DE YESO LAMINADO K711B.**KNAUF**

Knauf Standard A

Placa de yeso laminado básica para sistemas de construcción en seco

Descripción del producto

- Tipo de placa:
UNE-EN 520
- Color del cartón:
- Tinta de rotulo:

Tipología

Placa de 9,5 mm BA

Placa de 12,5 mm BA

Placa de 12,5 mm BC

Placa de 15 mm BA

Placa de 18 mm BA

Campo de aplicación

Las placas Knauf Standard pueden ser utilizadas en cualquier unidad de obra en interior como aplacado de sistemas de construcción en seco sin requerimientos especiales.

A
gris
negra

Sistemas:

- Techos fijos y suspendidos.
- Tabiques con estructura metálica.
- Tabiques con estructura de madera.
- Trasdosados directos.
- Trasdosados autoportantes.
- Recubrimiento interior de buhardillas.

Almacenaje

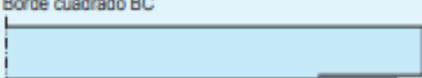
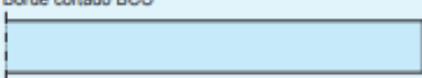
En sitios secos, en palés.

Propiedades

- Universal para cualquier sistema.
- Fácil de trabajar.
- No combustible.
- Se puede curvar.
- Poca retracción e hinchazón con los cambios climáticos.

No es apta para zonas de humedad permanente ni tabiques que tengan conducciones de líquidos en su interior.

K711B.es Knauf Standard A**Placa de yeso laminado básica para sistemas de construcción en seco****Datos técnicos**

Descripción	Unidad	Valor	Norma
Tipo de placa	-	A	UNE-EN 520
Reacción al fuego UNE-EN 13501-1	Clase	A2-s1,d0 (B)	UNE-EN 520
Borde longitudinal revestido con cartón	-	Borde afinado BA  Opcional Borde cuadrado BC 	-
Borde transversal sin cartón	-	Borde cortado BCO 	-
Tolerancia de anchura	mm	+0 / -4	UNE-EN 520
Tolerancia de longitud	mm	+0 / -5	UNE-EN 520
Tolerancias de espesores: Placa de 9,5, 12,5 y 15 mm Placa de 18 mm	mm	+0,5 / -0,5 +0,7 / -0,7	UNE-EN 520
Tolerancia de ortogonalidad	mm/m	≤ 2,5	UNE-EN 520
Factor de resistencia al vapor de agua μ: Seco Húmedo	-	10 4	UNE-EN ISO 10456
Conductividad térmica λ	W/(m·K)	0,22	UNE-EN ISO 10456
Hinchamiento y retracción por 1 % de variación de la humedad relativa	mm/m	0,006 - 0,008	-
Hinchamiento y retracción por 1 Kelvin de variación de temperatura	mm/m	0,013 - 0,020	-
Radio de curvatura mínimo para placa de 9,5 mm: Seco Húmedo	mm	r ≥ 2000 r ≥ 500	-
Radio de curvatura mínimo para placa de 12,5 mm: Seco Húmedo	mm	r ≥ 2750 r ≥ 1000	-
Densidad	kg/m ³	≥ 630	-
Dureza superficial (huella)	mm Ø	< 20	UNE-EN 520
Permeabilidad al aire	m ³ /(m ² ·s·Pa)	1,4 x 10 ⁻⁶	-
Medidas: Espesores Anchura Longitudes	mm	9,5 / 12,5 / 15 / 18 1200 Varias	-
Peso aproximado: Placa de 9,5 mm Placa de 12,5 mm Placa de 15 mm Placa de 18 mm	kg/m ²	7,5 8,0 10,6 14,3	-
Temperatura máxima de uso	°C	≤ 50 (puntualmente hasta 60)	-
Carga de rotura a flexión Placa tipo longitudinal: transversal:	N	9,5 mm 12,5 mm 15 mm 18 mm ≥ 400 ≥ 550 ≥ 650 ≥ 774 ≥ 160 ≥ 210 ≥ 250 ≥ 302	UNE-EN 520

Las placas de yeso laminado aumentan su peso cuando absorben agua. 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 h en llegar a un aumento de su peso del 10%.



K711B.es Knauf Standard A

Placa de yeso laminado básica para sistemas de construcción en seco

Medidas y embalaje

Descripción	Anchura mm	Longitud mm	Espesor mm	Unidad de embalaje	Código
Standard A 9,5 BA	1200	2500	9,5	50 uds. / palé 150 m ² / palé	493008
	1200	2600	9,5	50 uds. / palé 156 m ² / palé	493011
	1200	3000	9,5	50 uds. / palé 180 m ² / palé	493015
Standard A 12,5 BA	1200	2000	12,5	50 uds. / palé 120 m ² / palé	93869
	1200	2500	12,5	42 uds. / palé 126 m ² / palé	337872
	1200	2600	12,5	42 uds. / palé 131 m ² / palé	337873
	1200	2700	12,5	42 uds. / palé 136 m ² / palé	337876
	1200	2800	12,5	42 uds. / palé 141 m ² / palé	235405
	1200	3000	12,5	42 uds. / palé 151 m ² / palé	337880
Standard A 12,5 BC	1200	2000	12,5	50 uds. / palé 120 m ² / palé	54354
	1200	2500	12,5	42 uds. / palé 126 m ² / palé	534573
Standard A 15 BA	1200	2000	15	42 uds. / palé 101 m ² / palé	136339
	1200	2500	15	36 uds. / palé 108 m ² / palé	337903
	1200	2600	15	36 uds. / palé 112 m ² / palé	337905
	1200	2700	15	36 uds. / palé 117 m ² / palé	337910
	1200	2800	15	36 uds. / palé 121 m ² / palé	337913

Knauf Teléfono de contacto: ▶ Tel.: 902 440 460 ▶ Fax: 91 766 13 35	Sistemas de Construcción en Seco Avenida de Burgos, 114 Planta 6ª, 28050 Madrid	
	La documentación técnica está sujeta a constantes actualizaciones, es necesario consultar siempre la última versión desde nuestra página Web. www.knauf.es	
▶ www.knauf.es	<small>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 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 pueden afectar al sistema. 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.</small>	
K711B.es/esp/11.19/ES	Las características constructivas, estáticas y físicas de los sistemas Knauf, solamente pueden ser conseguidas y garantizadas, utilizando materiales comercializados por Knauf y siguiendo las indicaciones de montaje de nuestras hojas técnicas.	

ANEXO 4. CÁLCULO DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA TEÓRICA EN BASE A ESTUDIO PREVIO DE REFERENCIA [24].

Ante las limitaciones con las que contamos para llevar a cabo un mayor número de ensayos, nos parece interesante realizar una extrapolación de los datos de conductividad térmica de dicho estudio, a fin de poder realizar una aproximación de un Lambda (λ) teórico de nuestra muestra, el cuál pensamos que será bastante cercano al valor real, dado el comportamiento similar en el resto de ensayos como ya se ha mencionado junto a la imposibilidad de realizar dichos ensayos de conductividad térmica. En cualquier caso, este valor teórico un mayor grado de definición de las propiedades de nuestro material para la propuesta de un producto; junto a ello también establecerá una premisa que podrá ser tomada como hipótesis de partida en futuros ensayos, dejando abierta una posible línea de investigación continuista con este trabajo académico.

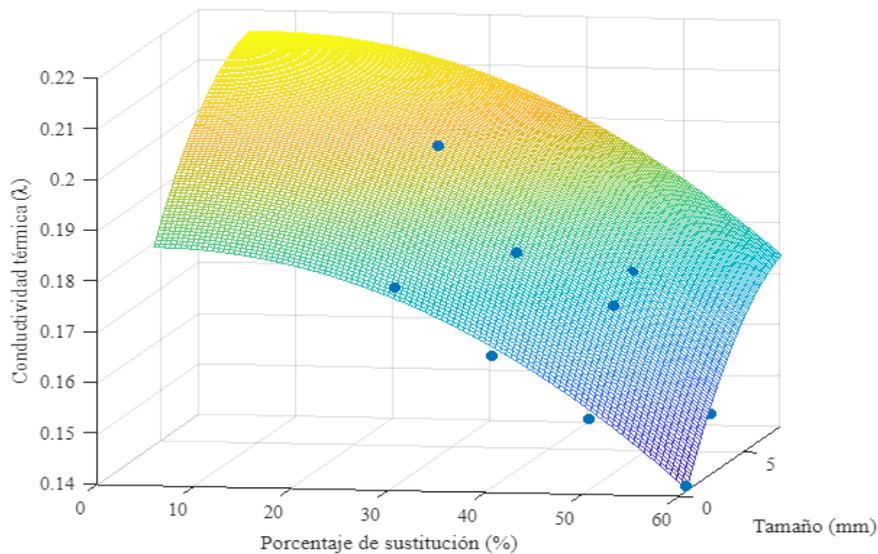
Observando los resultados obtenidos para la conductividad térmica [FIG_39] de dicho ensayo [24], vemos como no sólo se realizan los ensayos para distintas dosificaciones sino también para distintos tamaños de partículas para un mismo porcentaje de sustitución, ya que dictaminan que el tamaño de la partícula de adicción es un factor relevante en cuanto a conductividad térmica se refiere.

Table 6
Thermal conductivity of the experimental and theoretical composite considering performance both in series and in parallel.

Plaster board: $e = 2-3$ cm Polystyrene: $e = 2$ cm $\lambda = 0.037$			
Name	λ (W/m °C) parallel	λ (W/m °C) series	λ (W/m °C) experimental
R1	0.250	0.25	0.226
C-30-0.6	0.209	0.197	0.179
C-40-0.6	0.198	0.186	0.166
C-50-0.6	0.188	0.177	0.154
C-60-0.6	0.179	0.161	0.141
C-30-2.5	0.212	0.199	0.184
C-40-2.5	0.201	0.188	0.183
C-50-2.5	0.191	0.179	0.173
C-60-2.5	0.181	0.172	0.152
C-30-4.0	0.210	0.198	0.201
C-40-4.0	0.199	0.187	0.184
C-50-4.0	0.189	0.178	0.177

FIG_40: Tabla datos de conductividad térmica del estudio previo de referencia [24].

Estos ensayos se llevan a cabo para los porcentajes de sustitución del 30%, 40%, 50% y hasta el 60% y unos tamaños de 0,6mm, 2.5mm y 4mm. También plantean diferentes disposiciones teóricas del aditivo en serie o paralelo, pero decidimos tomar los valores experimentales ya que son los que más se adecuan a nuestro caso concreto con una disposición en la mezcla más homogeneizada.



GRÁFICA_23: Representación gráfica de los datos del estudio previo de referencia [24]. Elaboración propia.

De este modo podemos representar gráficamente estos valores ajustando la regresión a una cuádrica, ya que se trata de una ecuación de tres incógnitas con dos variables [GRÁFICA_23], pudiendo extrapolar el valor de la conductividad en función de un porcentaje de sustitución y un tamaño de partícula de adición determinados.

En nuestro caso tomaremos como tamaño de partícula de adición, el tamaño medio de nuestro residuo caracterizado, valor que obtenemos gracias a la granulometría realizada previamente en este trabajo en el apartado 6.3, en el cuál se determina que el tamaño medio de nuestro residuo es de 5,975mm, tomando el valor de 6mm para el cálculo de la extrapolación. Respecto a los porcentajes de sustitución tomaremos las dosificaciones empleadas en nuestros ensayos 4%, 8% y 12%, obteniéndose así los siguientes valores:

PROBETAS	Dosificación % de sustitución	Tamaño medio de partícula (mm)	Conductividad térmica teórica (λ)
Y/T4	4%	6	0,2012
Y/T8	8%	6	0,2009
Y/T12	12%	6	0,2004

TABLA_14: Valores de conductividad térmica teórica en base a extrapolación [24]: Elaboración propia

Como podemos observar en dicha tabla [TABLA_14] al tener un tamaño de partícula tan grande en comparación con los estudiados y nuestros porcentajes de sustitución tan pequeños, las variaciones respecto a la conductividad térmica son mínimas, no sin ser cierto que dicha conductividad desciende a medida que se aumenta el porcentaje de sustitución.

